



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

NÁVRH NOVÉ TECHNOLOGIE VÝROBY VYBRANÉ SOUČÁSTI

A NEW TECHNOLOGY OF A MACHINED PART

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Zbyněk Závěský

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.

BRNO 2016

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Bc. Zbyněk Záveský**
Studijní program: Strojní inženýrství
Studijní obor: Strojírenská technologie
Vedoucí práce: **prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.**
Akademický rok: 2015/16

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č. 111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Návrh nové technologie výroby vybrané součásti

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Návrh výroby složité součásti pomocí CNC technologie obrábění.
Rozbor výrobních operací, přídavků, řezných podmínek. Grafická simulace CNC obrábění. Verifikace obrábění, rozbor dosažených výsledků.

Cíle diplomové práce:

1. Úvod do problematiky
2. Návrh výroby složité součásti pomocí CNC technologie obrábění.
3. Verifikace obrábění, optimalizace řezných podmínek.
4. Rozbor dosažených výsledků, technologicko-ekonomické vyhodnocení.
5. Závěr

Seznam literatury:

Cihlářová, P., Hill, M. a Píška, M.: Fundamentals of CNC machining. Interaktivní studijní text v angličtině,
<http://www.fme.vutbr.cz/opory/pdf/ust/obrCNC/Fundamentals%20of%20CNC%20Machining.pdf>
Mattson, M. (2002): CNC programming: principles and applications. Delmar-Thompson Learning.
Quesada, R. (2005): Computer numerical control. Prentice Hall.
Computer numerical control. <http://cnc.fme.vutbr.cz/>

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2015/16.

V Brně, dne 30. 11. 2015





prof. Ing. Miroslav Piška, CSc.
ředitel ústavu



doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zaměřuje na problematiku CNC stroj. Práce se zabývá charakteristikou CNC strojů, souřadnými systémy, výhodami a nevýhodami CNC, využití CAD/CAM softwaru. V další části se zabývá návrhem pro zvolení nejvýhodnější technologie pro frézování kapes. V této části jsou popsány strategie frézování, řezné nástroje a podmínky a vše co se týče výroby kapes.

Klíčová slova

CNC stroje, výhody a nevýhody CNC strojů, frézování kapes.

ABSTRACT

This master's thesis is focused on CNC machines. It deals with the characteristics, description, coordinates, advantages and disadvantages of the CNC machines and utilization of the CAD/CAM software. The next part of this thesis deals with the suggestion for choosing the best technology for milling slots. Milling strategy, cutting processes and cutting conditions are described in this part as well as all the issues concerning the manufacturing of the milling slots.

Key words

CNC machines, advantage and disadvantage CNC machine, milling slots

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ZÁVESKÝ, Zbyněk. *Návrh nové technologie vybrané součástí*. Brno 2014. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 65 s. 1 příloh. Vedoucí práce prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma **Návrh nové technologie vybrané součásti** vypracoval(a) samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum

Bc. Zbyněk Záveský

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto prof. Ing. Miroslav Píška, CSc za cenné připomínky a rady při vypracování diplomové práce.

Dále bych chtěl velmi poděkovat Firmě Seco Tools a zejména panu Ing. Petru Vrtělovi za ochotu a pomost při frézování kapes.

Dále bych chtěl poděkovat celé své rodině za podporu v celém mém dosavadním studiu.

OBSAH

ABSTRAKT	4
PROHLÁŠENÍ.....	5
PODĚKOVÁNÍ	6
OBSAH.....	7
ÚVOD	9
1 CNC obráběcí stroje.....	10
1.1 NC stroje	10
1.2 CNC stroje	10
1.3 Schéma a popis CNC stroje	11
1.4 Výhody CNC strojů	12
1.5 Nevýhody CNC strojů	12
1.6 Souřadnicový systém CNC strojů.....	12
1.6.1 Kartézský souřadnicový systém.....	12
1.6.2 Polární souřadný systém	13
1.7 Vztažné body CNC frézky	13
1.8 CA technologie	15
1.9 CAD CAM systémy.....	15
1.10 Postup při práci s CAD/CAM.....	16
1.11 Technologie obrábění na CNC frézkách.....	17
2 Predstavení firmy Seco Tools AB	20
2.1 Historie firmy Seco Tools AB	20
2.2 Seco Tools CZ s.r.o.....	21
3 Zadání projektu	22
3.1 Materiál	22
3.1.1 Ocel 1.4404.....	23
3.2 Obrobitelnost	24
3.3 Stroj Mazak Vertical center smart 530C.....	25
3.4 technologie pro obrábění kapes	27
3.4.1Dynamické obrábění	27
3.4.1.1 Trochoidní frézování.....	27
3.4.1.2 Frézování vysokým posuvem	28
3.4.2 Drážkování.....	29
3.4.3 Ponorné frézování	29
3.5 Volba nástrojů.....	30

3.5.1	Fréza pro vysoko posuvové frézování	30
3.5.2	Břítová destička LPHT060310TR-M06	31
3.5.3	Fréza pro ponorné frézování R17.21 -1020.RE-R100.2A	31
3.5.4	Břítová destička od firmy Seco Tools 218.19-100T-	32
3.4.5	M06 MS2050	33
3.5.6	Monolitní válcová fréza od Seco Tools JS554160D2C.3Z4C-SIRA.....	33
3.6	Upnutí nástrojů	33
3.6.1	Upnutí pro HFM a ponorné frézování	33
3.6.2	Upnutí nástroje pro trochoidní a drážkové frézování	34
4	Realizace projektu.....	36
4.1	Způsob upnutí	36
4.2	Postup frézování kapes	36
4.3	Programování kapes.....	37
4.3.1	Ověřování dráhy nástroje a přesná simulace	38
4.3.2	Ukázka programu pro vysoko posuvové frézování:	39
4.4	První kapsa.....	40
4.5	Druhá kapsa	42
4.6	Třetí kapsa.....	44
4.7	Čtvrtá kapsa	46
4.8	Trvanlivost a opotřebení nástrojů	48
5	Vyhodnocení nákladů	50
5.1	Náklady na vysoko rychlostní frézování	50
5.2	Náklady na trochoidní frézování.....	51
5.3	Náklady na frézování drážkovací metodou	52
5.4	Náklady na ponorné frézování.....	53
6	DISKUZE	54
	ZÁVĚR	57
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	58
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	61
	SEZNAM PŘÍLOH.....	64

ÚVOD

V dnešní době, kdy se strojírenské podniky soustředí na největší kvalitu a produktivitu svých výrobků, nelze představit podnik, který nevyužívá CNC strojů. Tyto stroje jsou nedílnou součástí výroby díky vysoké přesnosti obrábění a zaručené opakovatelnosti.

Tato diplomová práce je zaměřena na návrh nové technologie výroby středně hlubokých kapes. S nástupem CAD/CAM technologií přišlo i spousta nových metod obrábění, které dovolují využít maximální možnosti obráběcího stroje.

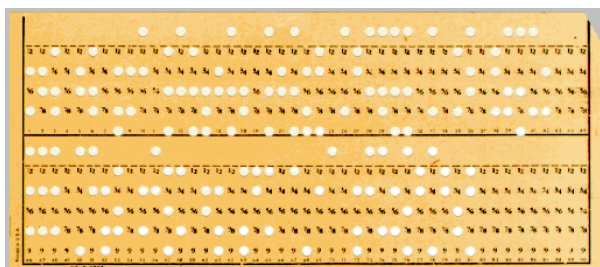
Obrábění kapes, dutin, drážek atd. jsou využívány v širokém spektru výrobků. Jedná se například o obrábění lopatek turbín, forem a různých funkčních kapes. Proto je zapotřebí zvolit si správnou metodu frézování. Abychom mohli zvolit tu nejlepší metodu, je potřeba zohledňovat několik faktorů. Jak bude kapsa hluboká, Jde-li o kapsu uzavřenou, nebo otevřenou, protože tyto aspekty udávají cenu obrábění.

Tato diplomová práce se zaměřuje na porovnání čtyř frézovacích metod - jak docílit k nejefektivnějšímu a k nejekonomičtějšímu frézování kapes. Vychází se z technologie vysoko posuvového frézování, které slouží jako porovnávací technologie k ostatním. Jako porovnávací technologie byly zvoleny trochoidní frézování, ponorné frézování a frézování kapsy drážkovací metodou.

1 CNC OBRÁBĚCÍ STROJE

1.1 NC stroje

Mezi roky 1950 a 1960 byly vyvinuty první číslicově řízené stroje. Byly to tzv. NC-stroje, jejichž název vyplývá z anglického výrazu numerical control. NC stroje jsou předchůdci CNC strojů a jako první byly řízeny řídicím systémem. Tyto stroje uchovávaly data na děrných páskách, magnetických štítkách nebo na děrných štítkách [1,2].



Obrázek 1 Děrný štítek [3].

1.2 CNC stroje

Po roce 1970 byl vyvinut první CNC stroj, jehož název vyplývá z anglického výrazu computer numerical control (počítačově číslicově řízený). Na rozdíl od NC strojů, tyto stroje jsou vybaveny vlastním počítačem, který řídí výrobní proces. Dále je stroj vybaven monitorem a klávesnicí pro okamžité programování, či úpravě programu a ovládání stroje v různých pracovních režimech, jakož je třeba servisní režim [4,5].

CNC stroje a jejich pracovní funkce jsou řízeny řídicím systémem stroje pomocí vytvořeného programu, který je složen z tzv. alfanumerických znaků (číslic a písmen). Tyto znaky dále tvoří bloky nebo věty v programu, které popisují pracovní činnosti stroje. Každý blok dále obsahuje [4,6]:

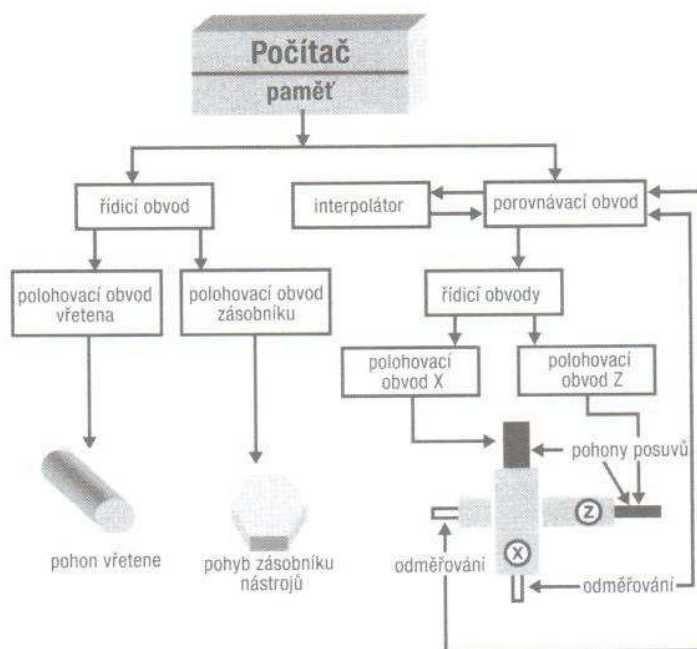
- geometrickou informaci – pohyby ve směru os,
- technologickou informaci – spuštění otáček, zapnutí chlazení atd.

Každý blok se skládá ze slov, které jsou složeny z adresné části a číselných kódů. Adresa určuje, kam bude informace směřována a číselný kód určuje konkrétní hodnotu. Slovo může být rozměrové nebo nerozměrové [1,6].

Příklad v zápisu bloku programu:

N 030 G01 X15 Z50 F 0,25

1.3 Schéma a popis CNC stroje



Obrázek 2 Blokové schéma CNC obráběcího stroje [4].

Počítač - důležitá část CNC stroje, v němž je nahrán řídicí systém [6].

Řídicí obvody – V těchto obvodech se logické signály převádí na silnoproudé elektrické signály, kterými se ovládají jednotlivé části stroje (motory vřetene a posuvů, ventily atd.) [4].

Interpolátor – řeší dráhu nástroje v jednotlivých souřadných osách tak, aby pohyb nástroje mezi dvěma zadanými body byl přímkový – interpolace přímková, nebo po kruhovém oblouku – interpolace kruhová. Interpolátor pracuje s jednotkovými pulzy a každý pulz je signálem pro ujetí jednoho inkrementu dráhy. Jeden inkrement je tedy definován jako nejméně možný a odměřitelný pohyb. Čím menší inkrement, tím je přesnější pohyb. Dnes se setkáváme s inkrementem o velikosti $1\mu\text{m}$ ($0,0001\text{mm}$) [5].

Porovnávací obvod – s pravidla je vybaven tzv. zpětnou vazbou, která poskytuje informace o aktuálních geometrických hodnotách suportů z pravítek. Tyto pravítka se nachází v souřadných osách dráhy pohybu suportů. Následně se naměřené souřadnice dráhy suportu (nástroje) porovnávají se souřadnicemi psanými v programu. Jestliže je zjištěn rozdíl mezi souřadnicemi, pohony dostanou povel k dosažení správných hodnot souřadnic. Stroj je tedy vybaven odměřováním a je zde zajištěn vyšší stupeň přesnosti výroby.[4,6]

Řídicí panel – Každý řídicí panel může být řešen konstrukčně jinak a to podle výrobce. Skládá se z více částí a těmi je [4,6]:

- vstup dat,
- ovládání stroje,
- volba režimu stroje,

- aktivace paměti,
- aktivace testů,
- obrazovka.

1.4 Výhody CNC strojů

Hlavní výhodou CNC strojů je ta, že jsou to stroje s pružnou automatizací. To znamená, že je lze rychle přeprogramovat na jinou výrobní součástku pouhou změnou programu, popřípadě nástrojů [4].

Pracují v automatizovaném cyklu, tím pádem se do značné míry eliminuje zmetkovitost výroby a chyba operátora [4,5].

Vytvoření nového programu lze uskutečnit mimo stroj, který může stále pracovat při stávajícím programu [4,5].

Činnost operátora – Operátor je osvobozen od samotného obrábění součástky, neboť stroj obrábí podle programu sám. Operátor pouze musí hlídat kvalitu obrobku (rozměry, drsnost povrchu, geometrické tolerance). Při nesouladu rozměrů s výkresovou dokumentací musí upravit korekce nástrojů. Operátor by měl být stále na svém pracovišti, protože kdykoli během obrábění se může poškodit nástroj a tím by se začali vyrábět neshodné kusy [4,5]

Na monitoru, který je součástí řídicího panelu lze sledovat důležité informace o chodu stroje. Jsou to informace o otáčkách řezného nástroje, posuvové rychlosti, řezném prostředí. Dále můžeme sledovat aktuální polohu řezného nástroje, s tím že známe konečnou souřadnici kam má nástroj dojet. Tím pádem můžeme sledovat, zdali nedojde ke kolizi [4,5,6].

1.5 Nevýhody CNC strojů

Nevýhodou jsou například velké vstupní náklady na pořízení stroje, nástrojů a držáků. Kvůli velké investici je potřeba, aby provoz byl nejméně dvousměnný, aby se investice vrátila.

Větší jsou i náklady na provoz stroje (údržba, chladicí kapaliny, oleje, atd.).

Se složitou součástkou na výrobu, je potřeba zkušený programátor [4].

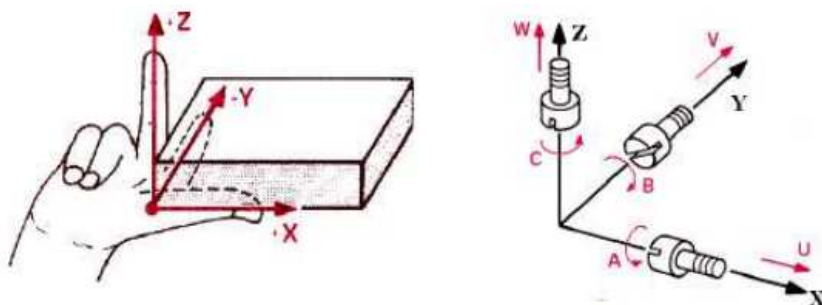
1.6 Souřadnicový systém CNC strojů

Abychom jsme se mohli orientovat v pracovním prostoru stroje, tak potřebujeme souřadný systém. Ten nám slouží také k orientaci obrobku v prostoru či nástroje. Díky souřadnému systému jsme schopni navést nástroj (obrobek) do požadovaného bodu v prostoru. U číslíkové řízených strojů musí být jednoznačně určen souřadný systém os v pracovním prostoru stroje. Kvůli lepší programovatelnosti CNC strojů byly stanoveny pravidla pro souřadné systémy a označování os u obráběcích strojů [4,6].

1.6.1 Kartézský souřadnicový systém

Definice kartézského systému je dána normou ČSN ISO „Terminologie os a pohybu“. Je to pravoúhlá pravotočivá souřadná soustava, se základními osami X, Y a Z. CNC stroj může disponovat více osami, které jsou rovnoběžné s osami základními I, J a K a U, V a W. Dále máme osy, které se otáčejí kolem svých základních os X, Y a Z a ty se označují jako A, B a C – (viz obrázek 3). Osa Z je vždy totožná s osou rotace (vřetená) a

platí, že kladný směr je orientován od obrobku. Pro sestavení programu a pro samotné řízení stroje je Kartézský souřadnicový systém nezbytný. Je také potřebný pro měření nástrojů. Podle okolnosti lze se souřadný systém různě polohovat – posouvat, naklápět i otáčet [4,5,6]

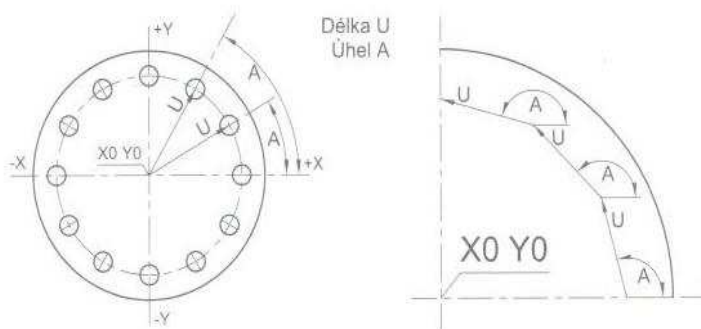


Obrázek 3 Definování kartézských souřadnic v pravotočivé soustavě [6].

1.6.2 Polární souřadný systém

Polární souřadný systém se využívá zejména u obrobků s kruhovými oblouky, otvory na roztečné kružnici či při kruhových údajích zadaných na výkrese. Poloha nástroje je určena pomocí [4]:

- pólu (výchozí bod),
- poloměru (špičky),
- úhlu natočení.



Obrázek 4 Polární souřadnice [4].

1.7 Vztažné body CNC frézky

Vztažné body u CNC strojů jsou velmi důležité, neboť díky nim je stroj schopen orientovat se v prostoru. Od těchto bodů si stroj odměřuje zadávané souřadnice [4].

Vztažné body se dělí na [5]:

- body, které jsou dány výrobcem a nedají se přeprogramovat,
- body, jehož souřadnice si volí programátor.

M - Nulový bod stroje

Tento nulový bod je stanoven výrobcem a nelze jej měnit, proto je tento bod pevný a odvíjejí se od něj další souřadnicové systémy a vztažené body na stroji. Nulový bod bývá umístěn v krajních polohách stolu frézky [4,5,6].

W – nulový bod obrobku

Tento nulový bod si volí programátor sám v závislosti na poloze a tvaru obrobku. K tomuto bodu se vztahují všechny souřadnice drah, které jsou napsány v programu [4,5,6].

R – referenční bod stroje

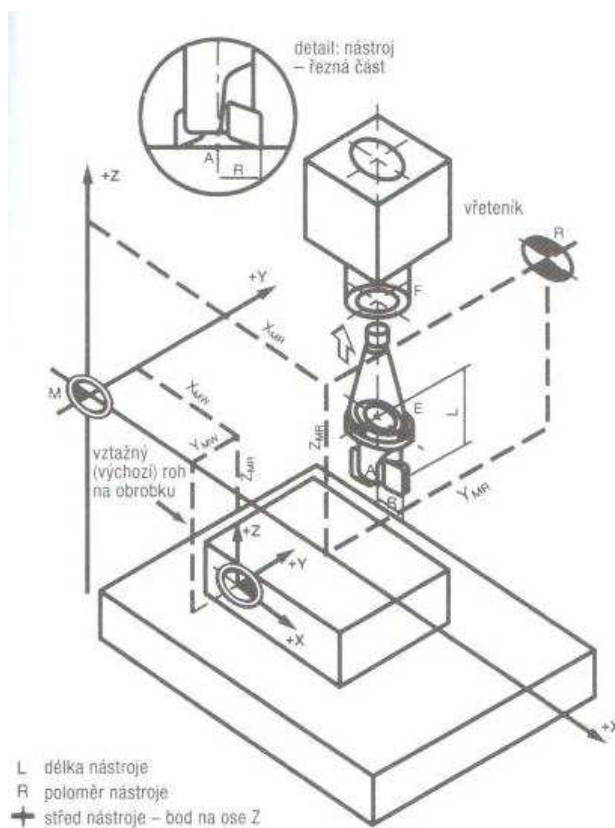
Tento bod je stanovený výrobcem a nelze jej přepsat. Referenční bod slouží k přesnému nastavení odměřovacího systému. Po zapnutí stroje, stroj najede do referenčního bodu, a tím se provede tzv. zreferování počátečních nastavení stroje eliminace chyb. Tento bod je realizován pomocí koncových spínačů. Úhlopříčka mezi referenčním bodem a nulovým bodem stroje obvykle udává pracovní prostor stroje. Moderní stroje s absolutním odměřováním nepotřebují referenční bod [4,5,6].

F – vztažný bod suportu nebo vřetene

Do tohoto bodu se vkládá nástroj s držákem. Ten je umístěn na čele vřetene a v ose její rotace. K tomuto bodu se vztahují délkové korekce nástrojů [4].

E – bod nastavení nástroje

Tento bod se nachází na držáku nástroje a po vložení do stroje splyne s bodem F [4].



Obrázek 5. Vztažné body na frézce [4]

1.8 CA technologie

V dnešní době si nedokážeme ani představit podnik bez počítačů. Ve strojírenství se počítače zapsali jakou důležitou součástí pro automatizaci předvýrobní i výrobní činnosti [6].

Název CA vychází z anglického slova Computer Aided, což vyjadřuje počítačovou podporu dané profese, v různých odvětvích činností pracujících na zakázce. Jedná se tedy o souhrn počítačových softwarů, které řeší celý koloběh výroby od marketingu přes výrobu až po expedici k zákazníkovi [6,7].

CA technologie slouží pro usnadnění práce konstruktérů, technologů při návrhu výrobků, jeho výrobě, kontrole, obchodníkům a mnoha dalším odvětvím ve firmě. Zvyšuje se tím efektivita chodu celé firmy, komunikace mezi jednotlivými úseky vývojových týmů a kooperace firem pomocí internetu. V tabulce (1) jsou uvedené některé z CA technologií [7].

Tabulka 1 - CA technologie [6,7].

Podnikové útvary	Zkratka CA technologie	Anglický název
Marketing	CAS	selling
Obchod	CAO	organisation
Projekce, konstrukční příprava výroby	CAD	design
Technologická část výroby	CAP	processing
Operativní řízení výroby	PPS	
Díleňská výroby	CAM	manufacturing
Expedice		
Montážní dílny	CAA	assembly

Mezi výhody použití CA technologií patří:[5]:

- zvýšení produktivity,
- snížení počtu chyb,
- správa dokumentů,
- distribuce dokumentace,
- zjednodušení kooperace,
- oborová provázanost,
- mezinárodní spolupráce,
- zajištění standardů.

1.9 CAD CAM systémy

V dnešní době si ani nelze představit efektivní obrábění na CNC strojích bez využívání systému CAD/CAM. Jedná se především o zkrácení času a ulehčení práce při tvorbě NC programů. Pojem CAD/CAM znamená konstruování pomocí počítače a výrobu

řízenou pomocí počítače. Hlavní výhodou CAD/CAM systémů je ta, že je zaměřená i na předvýrobní etapy (výkresová dokumentace 2D a modely 3D výrobku v digitální podobě) [4,8].

Tvarově složité součástky (např. formy, lopatky turbín, atd.) nelze pro jejich tvarovou složitost naprogramovat jinak, nebo by bylo velmi obtížné ruční programování, než využitím CAD/CAM systémů. S tím souvisí i značná nevýhoda a to je pochopení principu systémů a ve znalosti ovládání softwaru a osvojení si správné volby strategie obrábění [4,6,8].

CAD z anglického výrazu Computer Aided Design (počítačová podpora konstruování). Jedná se tedy o počítačovou konstrukci součásti a její výkresové dokumentace pomocí základních geometrických elementů (bodů, čar, kruhů, atd.). CAD zahrnuje veškeré typy konstrukčních prací využívající počítač pro vývoj, analýzu nebo modifikaci již hotové konstrukce. Systémy CAD jsou založeny na interakční počítačové grafice. Zde je počítač využíván pro tvorbu, transformaci a zobrazení dat ve formě symbolů nebo obrazů. Výsledný model či výkres může být opět modifikován – posunut, zvětšen, otočen, zmenšen, atd. CAD systémy kromě operačního systému s grafickým programovým vybavením pro kreslení výkresů a tvorbu modelů, mohou obsahovat další programy pro analýzu konstrukce (metoda konečných prvků), programy pro vědeckotechnické výpočty (statika, dynamika, hydraulika, atd.) a programy pro administrativu (kusovníky, ukládání výkresů, atd.). Tyto softwarové balíky jsou volitelné podle potřeby uživatele [8].

CAM z anglického výrazu Computer Aided Manufacturing (počítačová podpora výroby). Je definována jako technologie využívající počítačových systémů k řízení NC strojů, robotů, mezioperační dopravy výrobků, polotovarů, náradí, atd. Výstupní data z CAM systému jsou ve formátu ATP nebo CL. Důležitou součástí CAM systému je postprocesor, který převádí data z formátu ATP nebo CL do G a M kódu [4,8].

1.10 Postup při práci s CAD/CAM

1. Podle požadavků zákazníka a dokumentace se zhotoví model ve 3D nebo výkresu 2D, jenž se nevyužívá, v CAD softwaru. Výkresy ve 2D se používají přímo pro pracovníky na dílně [4,8].
2. Přenos digitálního modelu nebo výkresu do CAM softwaru - většinou bývá součástí CAD softwaru. V samotném CAM modulu lze také vytvořit jednoduchý 3D model. Problém může nastat při přenosech cizích CAD formátů do CAM. Po přenosu dat je tedy nutná kontrola a případná oprava chyb [4,8,9].
3. Kontrola modelu nebo výkresu je nutná z těchto důvodů [4,9]:
 - Nutná kontrola spojitosti křivek, ploch, těles a případné nespojitosti opravit
 - Ověření, zda výkres nebo model odpovídá zadaným rozměrům
 - Před začátkem práce v CAM je dobré model nebo výkres zjednodušit a to odstraněním kót a tvarů, které nebudeme při tvorbě programu potřebovat - pro lepší orientaci programátora.
4. Samotná práce v modulu CAM je velmi důležitá. Je zapotřebí zvolit vhodnou strategii výroby, což znamená zvolit pořadí operací. K jednotlivým operacím je potřeba přiřadit nástroj a definovat jakým způsobem bude nástroj daný tvar, plochu

obrábět. Programování se odehrává v dialogových oknech, kde programátor vyplňuje podmínky obrábění. Výsledný program je potřeba ověřit na simulátoru, zkontrolovat dráhy nástrojů a geometrii obrobku [4,8,9].

5. Předání programu na daný CNC stroj a odladění programu. Kontrola upnutí součásti, a zda nástroje ve stroji odpovídají nástrojům v programu [4].
6. Výroba prvního kusu a odladění programu, neboť pouze na daném stroji lze ověřit popřípadě upravit strategii obrábění, řezné podmínky, dráhy nástrojů, atd. Případné chyby v programu se opravují buď přímo na stroji, k tomu je zapotřebí znalost ručního programování, nebo se úpravy provádí opět v CAM systému [4].

1.11 Technologie obrábění na CNC frézách

frézovací obráběcí centra jsou typické v tom, že na jednom stroji lze provést nejen klasické frézování, ale také soustružení na otočném stole. Na jedno upnutí je možné vyrobít celou součástku díky naklápění obrobku vůči fréze (například v kolébce, nebo frézovat na nedostupných místech (vůči dřívější technologii). Současné frézovací CNC centra umožňují obrábět lopatky turbín, čerpadel a dalších. Výsledkem je přesná geometrie, zkrácení výrobních časů a hlavně výroba součástek, které dříve nebylo možné dostupnou technologií vyrobit [10,11].

Frézování je obráběcí metoda, kde úběr materiálu probíhá díky břity rotujícího nástroje. Základní rozdíl mezi soustružením a frézováním je v tom, že u frézování je řezný proces přerušovaný, to znamená, že každý břit (zub nástroje) odebírá krátké třísky proměnné tloušťky [10,11].

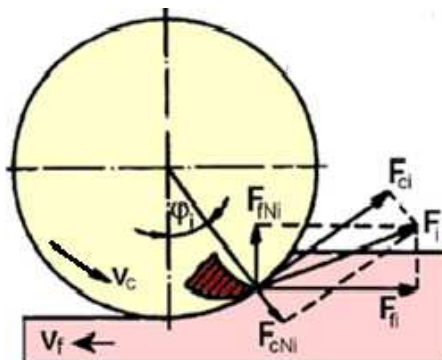
U klasických 3-osých frézek pracovní posuv koná obrobek, převážně ve směru kolmém k ose nástroje. U víceosých (3 a více os) frézek, pracovní posuv vykonává jak obrobek, tak i nástroj, který se může pohybovat ve více osách [10]

Frézování se podle druhu frézovací operace v závislosti na tvaru obrobku dělí na [10,11]:

- čelní,
- čelní do rohu,
- kopírování,
- frézování dutin,
- frézování kotoučovou frézou,
- rotační frézování,
- frézování závitů,
- dělení materiálu,
- frézování vysokým posuvem,
- ponorné frézování,
- zahlubování,
- šroubová interpolace,
- kruhová interpolace.

Při sestavování programu pro frézování, je nejdůležitější zvolit strategii frézování - kterým směrem bude odebírán materiál. Podle směru odběru materiálu se určí, zda frézovat sousledně, či nesousledně [10,11].

Při nesousledném frézování nástroj rotuje proti směru posuvu obrobku. Tloušťka třísky vzniká z nulových hodnot do maximální tloušťky. V důsledku toho, se tvoří při obrábění silové účinky a deformace, které zvyšují opotřebení břitu. Výsledná řezná síla působí směrem nahoru, tím pádem je obrobek řeznou silou nadzvedán [10,11].

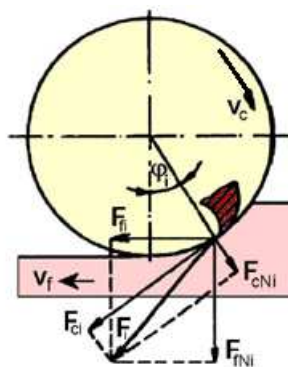


Obrázek 6. Nesousledné frézování [10].

Kde [10]:

- F_i – výsledná řezná síla,
- F_{fci} – řezná síla,
- F_{cNi} – Kolmá řezná síla,
- F_{fi} – posuvová síla,
- F_{fNi} – kolmá posuvová síla.

Sousledné frézování probíhá tak, že smysl rotace nástroje má stejný směr, jako je posuv obrobku. Zde se vytváří tříska od její maximální tloušťky při vnikání nástroje do materiálu. Při sousledném frézování působí většinou výsledná řezná síla směrem dolů proti stolu stroje [10,11].



Obrázek 7. Sousledné frézování [10].

Výhody nesousledného frézování [10]:

- trvanlivost nástroje nezávisí na okujích, písčitém povrchu obrobku a pod.,
- není zapotřebí vymezování vůle mezi posuvovým šroubem a maticí stolu stroje,
- menší opotřebení šroubu a matice,
- záběr zubů frézy při jejich vřezávání nezávisí na hloubce řezu.

Výhody sousledného frézování [10]:

- vyšší trvanlivost břitů,
- menší potřebný řezný výkon,
- řezná síla přitlačuje obrobek ke stolu,
- menší sklon ke kmitání,
- obvykle menší sklon k tvoření nárůstku,
- menší drsnost obrobeného povrchu.

Nevýhodou sousledného frézování je ta, že se nedá použít při frézování odlitků a výkovicích, neboť ostří by naráželo na kůru obrobku, kde mohou být okuje, písek a jiné nečistoty [10].

2 PREDSTAVENÍ FIRMY SECO TOOLS AB



Seco Tools je globální společností působící více než 75 zemích světa a okolo 5000 zaměstnanci. Seco Tools se zabývá poskytováním komplexních řešení pro obrábění kovů (frézování, soustružení, obrábění otvorů a nástrojové systémy). Je to jeden s největších světových dodavatelů rezných nástrojů. Seco Tools si zakládá na silném osobním kontaktu se zákazníkem, kde se snaží k dodání nejlepšímu možnému řešení pro specifické potřeby (technologie obrábění, rezné nástroje, atd.). Seco Tools disponuje globální certifikací ISO 9001, který zaručuje stálou vysokou kvalitu výrobků [12].

Seco Tools není jenom výrobce nástrojů, ale také se podílí na výzkumu a vývoji rezných nástrojů, nových technologií, materiálů a technologických postupů [12].

Seco Tools nabízí služby, zajišťující kompletní řešení pro všechny výzvy v obrábění kovů. A to je [12]:

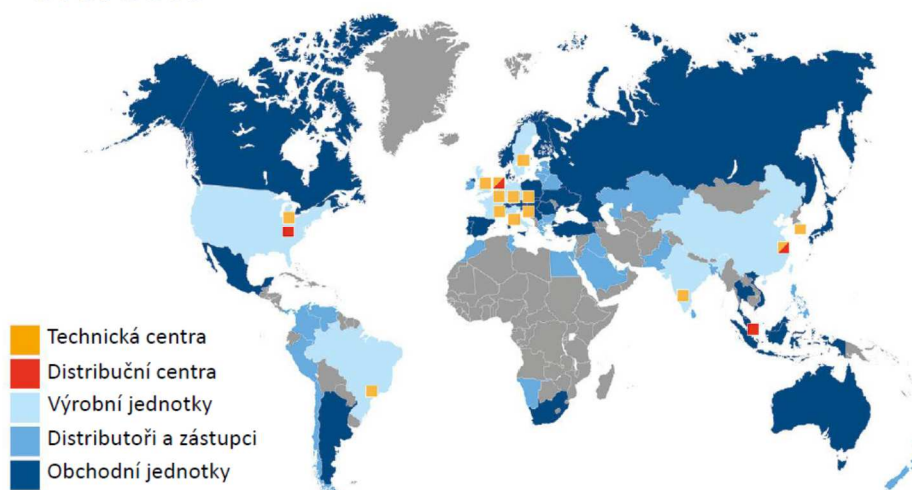
- portál My Pages (digitální pportál pro vše okolo produktů Seco),
- E-commerce (zjišťování dostupnosti produktů, zkoumání technických onformací, zpětná vazba na dodávku objednávky, atd.),
- Component Engineering Tooling (zajištění maximálního využití stroje, optimalizované nástroje řešení pro výrobu součástí, atd.),
- nástroje na míru
- program Seco Technical Education (školení pro zákazníky, semináře, atd.),
- SecoPoint™ (správa skladových zásob),
- dokumentované snížení nákladů (Vyhodnocení a optimalizace procesů obrábění pro exitující procesy a operace, navrhnutí potenciálu pro vylepšení, redukci nákladů a času a optimalizace kvality, atd.),
- recyklace nástrojů

2.1 Historie firmy Seco Tools AB

- 1611 Založení společnosti Fagersta Bruk
- 1873 Zřízení Fagersta Bruks AB.
- 1932 Společnost Fagersta Bruks AB uvádí produkt Seco.
- 1936 Vznik samostatné společnosti Seco.
- 1974 Společnost Seco Tools AB je založena jako nezávislá společnost.
- 1976 Založeny první pobočky v Dánsku a Japonsku.
- 1989 Společnost Seco Tools AB je uvedena na Stockholmskou burzu cenných papírů.

- 2009 Strategická konsolidace a investice do obchodních jednotek s technickými centry a podpůrnými organizacemi.
- 2012 Společnost Sandvik převzala 100 % podílu společnosti Seco Tools AB.
- 2015 S více než 40 obchodními jednotkami a velkým počtem zástupců a distributorů je společnost Seco přítomna ve více než 75 zemích.

Svět Seco



Obrázek 8. Seco Tools AB ve světě [12].

2.2 Seco Tools CZ s.r.o



Obrázek 9. Výzkumný pracoviště Seco Tools CZ s.r.o v Brně [13].

3 ZADÁNÍ PROJEKTU

Cílem této diplomové práce bylo navrhnout nejvýhodnější technologii frézování středně hlubokých kapes. Navrhnout technologie, kterými se bude provádět frézování kapes a jejich ekonomické zhodnocení. Byla zvolena základní technologie frézování, která byla brána jako počáteční a k této technologii se porovnávali ostatní.

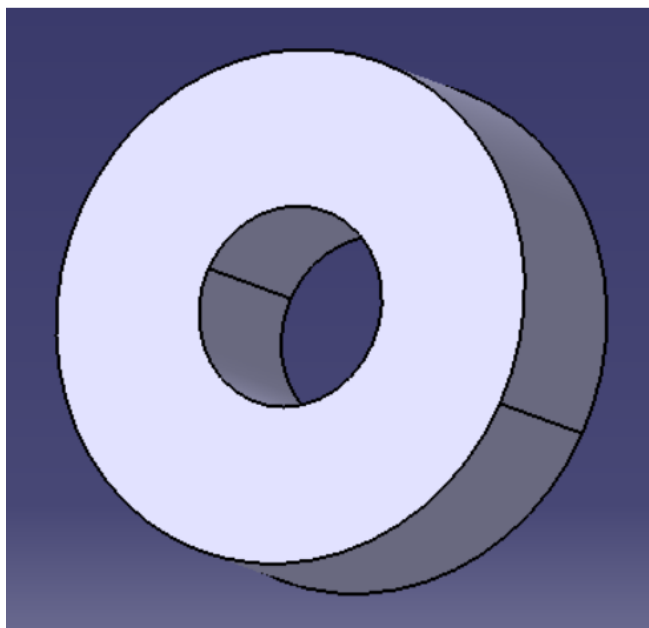
Porovnávací technologie frézování:

- trochoidní frézování,
- ponorné frézování,
- drážkování.

Základní kritéria pro výběr nejvýhodnější technologie jsou:

- nejnižší výrobní náklady,
- nejkratší výrobní čas, produktivita,
- nejvyšší celková kvalita (minimum neshodných kusů).

Frézování bylo realizováno do kruhového polotovaru a jako materiál byla zvolena austenitická ocel



Obrázek 10. Polotovaz pro frézování kapes.

3.1 Materiál

Kapsy byly frézovány do austenitické nerezavé oceli 1.4404. Všeobecně tato ocel obsahuje méně než 0,10 % uhlíku, 16–22 % chromu, 8–40 % niklu, 0–5 % molybdenu, případně dusík, titan, niob, měď nebo křemík. Mají austenitickou strukturu, která je tvořena dostatečným obsahem austenitotvorných prvků (nikl, mangan, uhlík a dusík). Tyto oceli mají nízkou mez kluzu 230 – 300 MPa, ale naopak mají vysokou houževnatost až 240 J.cm²a tažnost 45 – 65 %. Díky těmto vlastnostem je tato ocel vhodná pro tváření za studena, při kterém lze zvýšit mez kluzu od 510 do 960 MPa avšak při současném snížení tažnosti na 10 – 25 %. Tyto oceli se řadí do skupiny korozivzdorných ocelí což podle

definice je schopnost oceli vytvářet na povrchu pasivační vrstvu, která dává těmto ocelím odolnost proti elektrochemické korozi v oxidačních prostředích (vzduch, vodní pára, síry, páry chloru) [14].

3.1.1 Ocel 1.4404

Je to chromniklová, austenitická, nestabilizovaná, nízkouhlíková ocel obsahující molybden [15].

Mechanické vlastnosti:

Pevnost v tahu R_m 520 - 680 N/mm², mez průtažnosti (kluzu) $R_{p0,2}$ minimálně 220 N/mm² Tažnost 80 mm. Žíhací teplota 1000 - 1100°C. Nemagnetická, nekalitelná, má sklon ke zpevňování za studena při tváření, nebo při třískovém obrábění nevhodnými řeznými podmínkami. Se stoupající teplotou výrazně klesají hodnoty R_m a R_p [15].

Odolnost

Tato ocel je odolná proti korozi v průmyslovém prostředí, zejména proti důlkové korozi v přítomnosti chloridů. Není náchylná proti mezikrystalické korozi v oblastech tepelného ovlivnění [15].

Technologie zpracování

Je svařitelná bez rizika vzniku mezikrystalové koroze v oblasti tepelného ovlivnění. Je vhodná k tváření za studena. Třísková obrobiteľnosť je dobrá. Při leštění je obtížné dosáhnout zrcadlového lesku [15].

Užití

Pro svařované konstrukce v agresivním prostředí průmyslového typu. Dá se také použít pro styk s potravinami. Pro styk s pitnou vodou je omezeno hraničním obsahem niklu [15].

Obrobiteľnosť austenitické oceli

Všechny austenitické oceli jsou těžko obrobiteľné. Příčinou špatné obrobiteľnosti je jejich vysoká pevnost, nízká mez kluzu, vysoká tvárnost a značná houževnatost [16].

Tabulka 2 chemické složení 1.4404 [15].

C ≥ [hm. %]	Max 0,03
Si ≥ [hm. %]	Max 1,0
Mn ≥ [hm. %]	Max 2,0
Cr [hm. %]	16,5 - 18,5
Mo [hm. %]	2,0 - 2,5
Ni [hm. %]	11,0 – 14,0
P [hm. %]	Max 0,045
S [hm. %]	Max 0,015
N [hm. %]	Max 0,11
Fe [hm. %]	70,5 – 71,8

3.2 Obrobitelnost

U třískového obrábění je obrobitelnost jedena z nejdůležitějších vlastností materiálu. Je definována jako „*míru schopnosti daného konkrétního materiálu být zpracován některou z metod obrábění*“ [10]. Jedná se o souhrn fyzikálních vlastností a chemického složení kovů, který mají vliv na proces a správnou funkci nástroje při všech metodách obrábění [16,17]

Obrobitelnost je závislá především na těchto faktorech [10]:

- způsob výroby a tepelného zpracování obráběného materiálu,
- mikrostruktura obráběného materiálu,
- chemické složení obráběného materiálu,
- fyzikální a mechanické vlastnosti obráběného materiálu,
- metoda obrábění,
- řezné podmínky,
- řezné prostředí,
- geometrie nástroje,
- druh a vlastnosti nástrojového materiálu.

Pro vyhodnocení obrobitelnosti, se technické konstrukční materiály dělí do skupin, které jsou označeny malými písmeny [10]:

- a) litiny,
- b) oceli,
- c) těžké neželezné kovy (měď a slitiny mědi),
- d) lehké neželezné kovy (hliník a slitiny hliníku),
- e) plastické hmoty,
- f) přírodní nerostné hmoty,
- g) vrstvené hmoty,
- h) pryže,
- i) tvrzené litiny pro výrobu válců.

V každé této skupině se vybere jeden základní materiál, který je zvolen jako etalon obrobitelnosti, a k tomuto materiálu je pak stanovena relativní obrobitelnost všech ostatních materiálů v dané skupině. [10]

3.3 Stroj Mazak Vertical center smart 530C



Obrázek 11. Mazak Vertical center smart 530C

Obrábění kapes probíhalo na 5- osém obráběcím centru od firmy Mazak. Centrum nese označení Vertical center smart 530C. Toto obráběcí centrum je navrženo pro vysokou produktivitu obrábění, díky vysokým otáčkám včetně 12000 min^{-1} (za minutu) a vysokou posuvovou rychlostí. Tento stroj poskytuje vespělé technologie a širokou škálu obráběcích aplikací, které zaručují vysokou přesnost obrábění a velkou produktivitu. S produktivitou je také spojena velmi rychlá výměna nástrojů, která činí 1,3 sekundy. Ve vřetení jsou keramická ložiska, které zvyšují tuhost a snižují tepelnou bilanci [18].

Vespělé technologie, které se ve stroji nachází [19]:

- aktivní kontrola vibrací – minimalizuje vibrace pro vysoko posuvové, vysoce přesné obrábění. Tato technologie přispívá ke zvýšení životnosti nástroje.
- inteligentní tepelný štít
- inteligentní podpora údržby – tento systém monitoruje věci, které mají krátkou dobu životnosti, jakož jsou například filtry, nebo zaznamenává historii několika obráběcích jednotek. Tyto informace jsou užitečné pro rozhodování preventivních servisů.

Stroje od firmy Mazak jsou vybaveny vlastním softwarovým systémem Mazatrol smart, který je z hlediska uživatele velmi jednoduchý na ovládání, ale velmi efektivní. Tento software umožňuje jednoduché nastavení, rychlejší dokončení prvního výrobku a pohodlnější údržbu stroje. Mazatrol smart umožňuje jednoduché vytváření programů pro nezkušené programátory díky využívání parametrického programování. To spočívá v tom, že na displeji se vyplňují odpovědi na otázky ohledně souřadnic kam má nástroj jet, řezných podmínek, zda se jedná o dokončování nebo hrubování atd. [19].

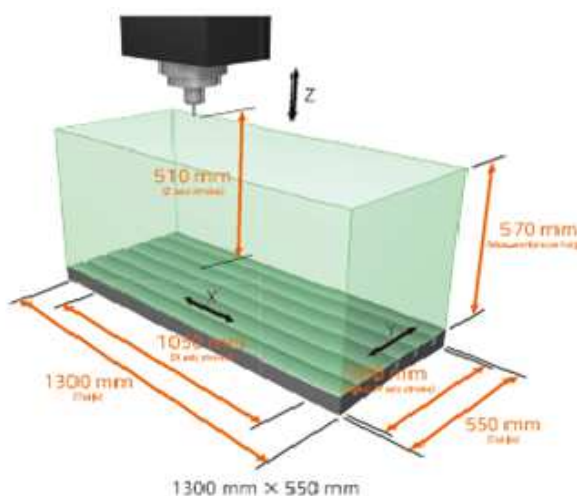


Obrázek 12. Programové okno Mazaku [19].

Parametry stroje jsou popsány v tabulce 19.

Tabulka 3 Technické parametry stroje [19].

Posuvy	posuv v ose x	1050 mm
	posuv v ose y	530 mm
	posuv v ose z	510 mm
	vzdálenost od stolu po vřeteno	150 - 660 mm
	vzdálenost od stolu po vřeteno	586 mm
Stůl	velikost pracovního stolu	1300×550 mm
	maximální zátěž stolu	1200 Kg
Otáčky	maximální rychlost vřetene	12000 min^{-1}
	rozsah otáček vřetene	2 - kroky
	zrychlení vřetene	2.0 s.
posuvy	rychloposuv v osách X, Y, Z	42 m/min
	posuv v řezu	1 - 8000 mm
Zásobník nástrojů	kapacita zásobníku	30
	rychlost výměny	1,3 s.
rozměry obr. Centra	šířka	2950 mm
	délka	2929 mm



Obrázek 13. Rozměry pracovního stolu [19].

3.4 technologie pro obrábění kapes

3.4.1 Dynamické obrábění

Dynamické obrábění je výraz, s kterým přišla na trh firma Seco Tools při spolupráci s výrobcem automobilů ve Velké Británii v polovině osmdesátých let. Jedná se o takový způsob frézování kde je potřeba vytvořit takovou kombinaci dráhy nástroje a řezných podmínek, aby byly správně aplikovatelné kompenzační postupy (poloha frézy, řezná rychlost, posuv). Na základě toho, se nástroj pohybuje tak, aby pracoval nejlepším technologickým způsobem. Jestliže z hlediska geometrie obrobku je nemožné, aby nástroj konal tyto pohyby, tak jsou modifikovány řezné podmínky, aby bylo dosaženo maximální efektivity [20].

Dynamické frézování je ve většině případů definováno jako strategie, kdy se nemění úhel záběru nástroje (úhel, ve kterém je fréza v kontaktu s materiálem obrobku) ve vygenerované dráze nástroje. Díky tomuto způsobu generování drah jsme schopni udržet zatížení frézy konstantní. Za pomoci tohoto způsobu lze řezné podmínky udržet na konstantní hodnotě a technologické faktory určující řezný proces (teplota v řezu, řezné síly, atd.) jsou stabilnější [20].

3.4.1.1 Trochoidní frézování

Trochoidní frézování je účinný způsob, jak frézovat kapsy, drážky nebo do boku. Trochoidní frézování využívá trochoidního pohybu, což je kombinace rotačního a translačního pohybu nástroje (geometrická křivka, která je tvořena bodem na kružnici, která rotuje při současném pohybu jejího středu). Využitím tohoto pohybu jsme schopni řídit radiální hloubku řezu a tím dosáhnout malých radiálních sil [20,21].

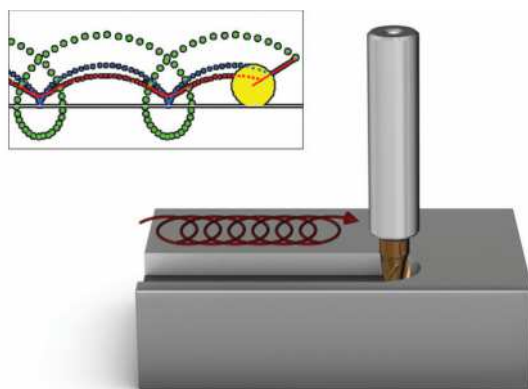
Díky trochoidní dráze nástroje jsme schopni eliminovat špatné obráběcí podmínky, které se vytvářeli při užívání tradiční dráhy nástrojů. Dráhy nástrojů se programují v CAM softwaru, který automaticky zohledňuje nejlepší způsob frézování (tloušťka třísky, otáčky, rychlost odebrání materiálu, atd.). Při frézování je vymezeno kolísání zatížení stroje, což umožňuje využití vyšších otáček a posuvových rychlostí [20,21].

Trochoidní metoda frézování se používá v případě, kdy hrozí přehlcení nástroje (velká radiální hloubka řezu), při obrábění tvrdých materiálů (slitiny titanu).

Trochoidní frézování je charakterizováno podle trochoidy, která je závislá na poloměru, kroku posuvu a úhlu [20,21].

- Poloměr trochoidy (R_{troch}) – udává poloměr kružnice, která opisuje valivý pohyb po pevné základní přímce vycházející ze středu nástroje,
- Krok trochoidy (S_{troch}) – definuje vzdálenost mezi středy dvou sousedních kružnic, které charakterizují posun nástroje o danou vzdálenost,
- Úhel opásání trochoidy (θ) – určuje úhel záběru, který vzniká mezi dvěma vektory popisujícími oblast, která vznikne při kontaktu nástroje a materiálu.

Na obrázku 13 je znázorněna trochoida, kde můžete vidět, že stěna drážky je tvořena malými kružnicemi, což znamená, že stěna nebude dokonale rovná. Kvalita povrchu stěny závisí na poloměru a kroku trochoidy.



Obrázek 14. Trochoida [20].

3.4.1.2 Frézování vysokým posuvem

HFM je zkratkou, která vyplývá z anglického slova high feed machining (frézování vysokým posuvem). Jedná se o metodu využívající malou axiální hloubku řezu, větší radiální hloubku řezu, vysoké posuvy na zub a střední až vysoké řezné rychlosti, čímž je dosaženo velkého úběru materiálu za jednotku času. V porovnání s konvenčními metodami je frézování vysokým posuvem až třikrát vyšší. HFM se používá zejména na hrubovací operace.[20, 21,23]

Frézování vysokým posuvem je výhodné používat na špatně obrobitelné materiály, nebo kdy je zapotřebí použít nástroje s velkým vyložení [20]

Výhody HFM [20,23]:

- řezné síly a příkon jsou v porovnání s jinými strategiemi nižší,
- směr řezných sil působících na nástroj je mnohem lepší. Při obrábění na nástroj působí nižší radiální zatížení, které omezuje výskyt vibrací. Díky této příznivé vlastnosti lze dosáhnout velké efektivity obrábění,
- obrábění těžko obrobitelných materiálů. Zvýšení životnosti nástroje a snížení opotřebení ostří.

3.4.2 Drážkování

Frézování drážek je samo o sobě velmi používanou metodou. Používá se například pro rozebíratelné spoje (drážky pro pero, drážkovaný konec hřídele), nebo vodící či upínací drážky [24].

Drážky se člení na [24]:

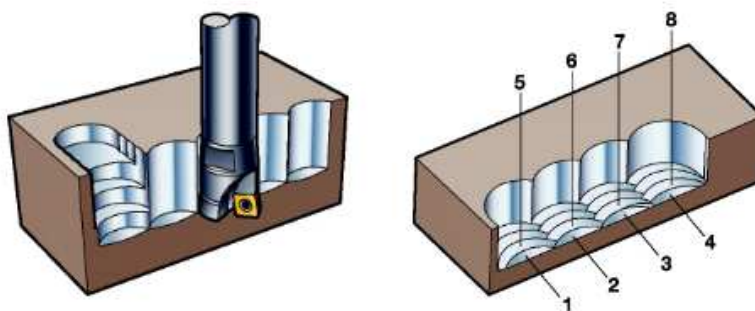
- pravoúhlé drážky,
 - a) průběžné (po celé délce obrobku),
 - b) uzavřené – zapuštěné (pro pero),
 - c) průchozí (upínka),
 - d) drážky tvaru T (upínací),
- úhlové drážky,
 - a) souměrné,
 - b) nesouměrné,
 - c) rybinovité ,
- tvarové,
 - a) rádiusové,
 - b) modulové.

Frézování pravoúhlé drážky může být zrealizována dvěma způsoby [25]:

- a) V celé hloubce najednou – drážka je vyfrézovaná na celou hloubku jedním záběrem. Při frézování do plného materiálu, dochází k odběru třísky na třech plochách zároveň. Je velmi důležité, aby fréza byla schopna zavrtání v axiálním směru. Při použití této metody, je velmi důležitý odvod třísek. Při velké hloubce drážky, jsou třísky dlouhé a nastává hromadění třísek v uzavřené drážce. V tomto případě hrozí poškození jak frézy, tak i materiálu. Zároveň jsou zde vyvozeny velké řezné síly, které způsobují vibrace, vyhnutí frézy, atd.
- b) Postupným prohlubováním po vrstvách

3.4.3 Ponorné frézování

Ponorné frézování, nebo také někdy nazývané obrábění v ose Z, bylo navrženo pro odebírání velkého množství materiálu. Tato metoda je v hodné pro frézování, kde by bylo zapotřebí dlouhého vyložení nástroje. Při těchto podmínkách je nutné snížit řezné podmínky, aby se zabránilo vyhnutí nástroje. Díky tomu vznikají vibrace, špatná jakost povrchu a horší rozměrová přesnost. Proto se používají ponorné frézy, které umožňují vysoké řezné podmínky. Používají se pro aplikace 3D frézování. Řez probíhá na čele nástroje, což má značnou výhodou v charakteru řezných sil, které směřují ve směru vřetene, čímž je zamezen vznik vibrací. Tato metoda lze přirovnat k metodice vrtání [26,27].



Obrázek 15. Ponorné frézování [27].

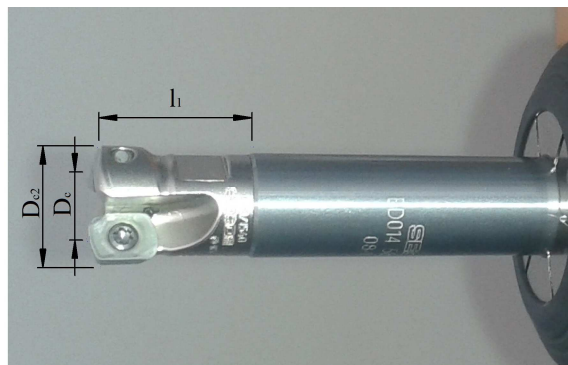
3.5 Volba nástrojů

3.5.1 Fréza pro vysoko posuvové frézování

Pro tuto technologii byla zvolena fréza od firmy Seco Tools s obchodním označením R17.21 -0816.RE-LP06.2A. tato fréza je vhodná pro frézování s velkým vyložením, pro frézování hlubokých kapes, nebo při nestabilních podmínkách, které mohou být způsobeny dlouhým vyložením, špatně zvolený stroj nebo obráběcím procesem [28].

Tyto frézy zmenšují vibrace díky správnému působení řezných sil, které působí ve směru vřetene. Díky tomu mají dlouhou a předvídatelnou živostnost Tyto frézy jsou navrženy pro maximální úběr materiálu při nestabilních podmínkách [28].

Konstrukce těles fréz a geometrie destiček umožňuje obrábění široké škály materiálů a celkový čas obrábění může být snížen až o 60% [28].

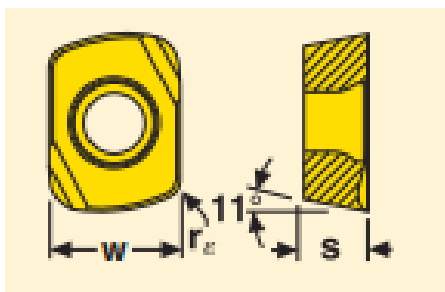


Obrázek 16. Fréza pro HFM

Tabulka 4. Parametry frézovací hlavičky [28].

Typ upínací stopky	Combimaster
$\varnothing D_{c2}$	16 mm
$\varnothing D_c$	7,5 mm
$\varnothing D_{5m}$	13,5 mm
Závit M	M8
Délka hlavičky L_1	20 mm
Počet zubů z	2

3.5.2 Břitová destička LPHT060310TR-M06



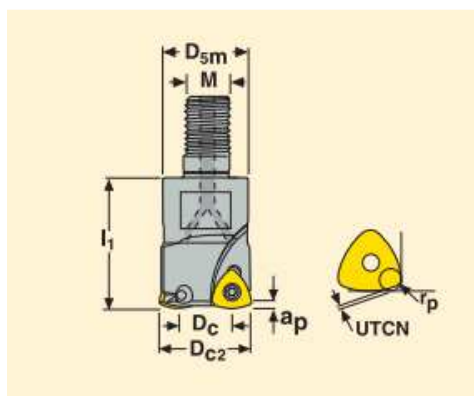
Obrázek 17. Břitová destička pro HFM [28].

Tabulka 5. Parametry břitové destičky

Hloubka řezu a_p	0,8 mm
Velikost	100
šířka W	6,35 mm
tloušťka s	3,18 mm
Poloměr špičky r_e	1 mm
Úhel čela γ	11°

3.5.3 Fréza pro ponorné frézování R17.21 -1020.RE-R100.2A

Pro tuto technologii byla zvolena frézovací hlava od firmy Seco Tools pod obchodním označením R17.21 -1020.RE-R100.2A. tato fréza byla speciálně navržena pro ponorné frézování. Frézy jsou navrženy pro velký úběr materiálu.

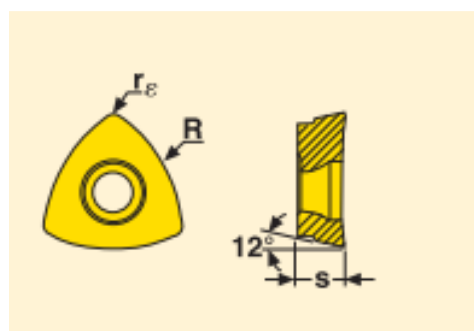


Obrázek 18. Fréza pro ponorné frézování [28].

Tabulka 6. Parametry frézovací hlavičky [28].

Typ upínací stopky	Combimaster
$\varnothing D_{c2}$	25 mm
$\varnothing D_c$	16,46 mm
$\varnothing D_{5m}$	23 mm
Závít M	M12
Délka hlavičky L_1	35 mm
UTCN	0,45 mm
Poloměr zaoblení r_p	1,47 mm
Počet tubů z	2

3.5.4 Břitová destička od firmy Seco Tools 218.19-100T-



Obrázek 19. břitová destička pro ponorné frézování [28].

Tabulka 7. Parametry břitové destičky

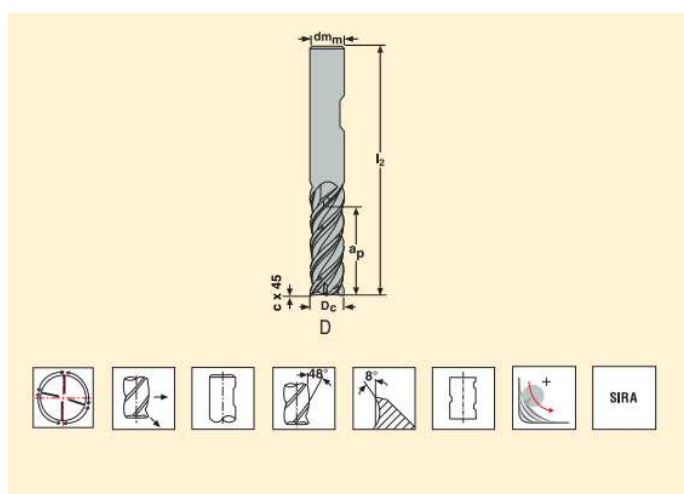
Hloubka řezu a_p	0,7 mm
Velikost	100
tloušťka s	2,78 mm
Poloměr špičky r_ϵ	0,8 mm
Úhel čela γ	7°
$\varnothing d$	7,06 mm
Poloměr zaoblení R	10 mm

3.4.5 M06 MS2050

Pro frézování kapes metodou HFM a ponorným frézováním byly použity destičky typu MS2050. Tato destička má stříbrný povlak, který se nanáší metodou PVD. Tato destička má vyšší tepelnou odolnost a velmi dobře eliminuje tvorby nárůstků na břitu nástroje při obrábění přilnavých materiálů, jako je například titan [28].

3.5.6 Monolitní válcová fréza od Seco Tools JS554160D2C.3Z4C-SIRA

Jedná se o válcovou monolitní karbidovou frézu, která má čtyři břity s děleným ostrím. Tato fréza má menší rozměry krčku, což jí umožňuje větší všestrannost využití, například v obrábění složitě upnutých dílců, ke kterým je špatný přístup. Dále nástroj poskytuje větší vůli za břity při obrábění tvarově složitých dílců [28].



Obrázek 20. Válcová monolitní fréza [28].

Tabulka 8. Parametry frézy [28].

Hloubka řezu a_p	40 mm
Délka řezné hrany	2 mm
$\varnothing D_c$	16 mm
$\varnothing Dm_n$	16 mm
Délka l_2	99 mm
Cx45°	0,25
Počet břitů z_n	4 mm

3.6 Upnutí nástrojů

3.6.1 Upnutí pro HFM a ponorné frézování

Upnutí frézovací hlavičky bylo realizováno pomocí systému Combimaster. Tento nástrojový strojní systém se skládá ze dvou částí [29]:

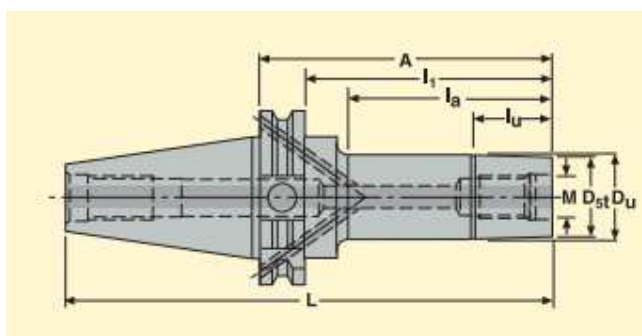
- frézovací hlava,
- držák, prodloužení.

Díky tomu že se celá fréza skládá ze dvou částí, stává se z ní velmi flexibilní nástroj, který lze použít v široké oblasti aplikací. Dále můžeme sestavit optimální délku řezného nástroje, dle typu operace. Obě části nástroje jsou vybaveny kanálky pro vnitřní chlazení [29].

Oblasti využití:

- rohové frézy,
- válcové stopkové,
- kopírovací,
- čelní,
- ponorné,
- kotoučové.

Upínací trn Combimaser Secoo Tools DIN 40 ADB/CAT 40



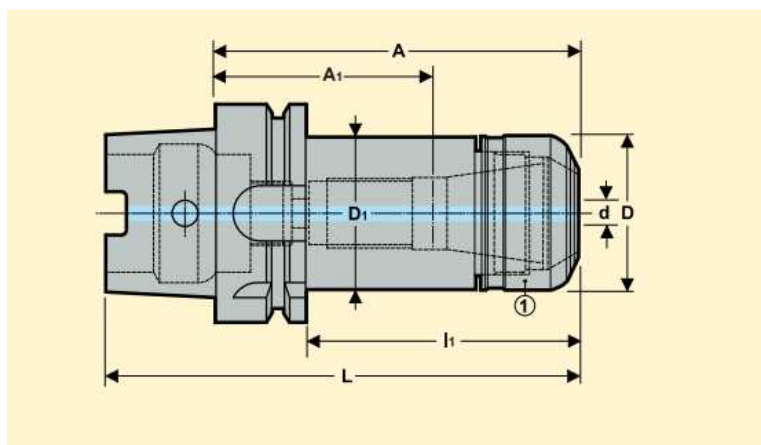
Obrázek 21. Upínací trn Combimaster [28].

Tabulka 9. Specifikace upínacího trnu [28].

Délka L	108,4 mm
Délka A	40 mm
Délka l_1	21 mm
Délka l_a	5 mm
Délka l_u	5 mm
Závit M	M12
Průměr D_u	24,7 mm
Průměr D_{st}	23 mm

3.6.2 Upnutí nástroje pro trochoidní a drážkové frézování

Pro tyto dvě operace byla použita fréza s válcovou stopkou, proto bylo upnutí realizováno pomocí kleštinového upínače EPB5672. Tento upínač má vysokou přesnost upnutí kombinující s vysokou přesností házení. Upínač přenáší vysoký točivý moment, vhodný pro HSM technologii.

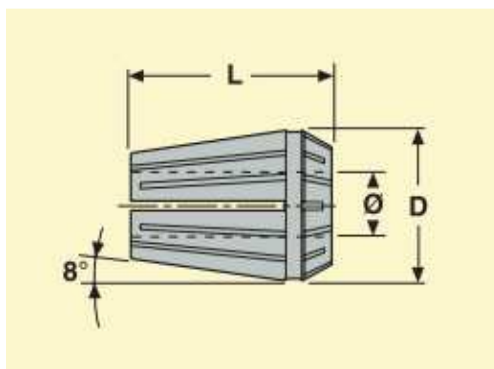


Obrázek 22. Kleštinový upínač EPB5672 [28].

Tabulka 9. Specifikace držáku [28].

Průměr, který lze použít d	2-16 mm
Jmenovitý průměr D	40 mm
Délka A	160 mm
Délka A ₁	min 95 mm – max 122 mm
Délka L	192 mm
Délka l ₁	134 mm
Jmenovitý průměr D ₁	40 mm
Váha	1,69 Kg

Použitá kleština



Obrázek 23. Kleština na upnutí nástrojů [28].

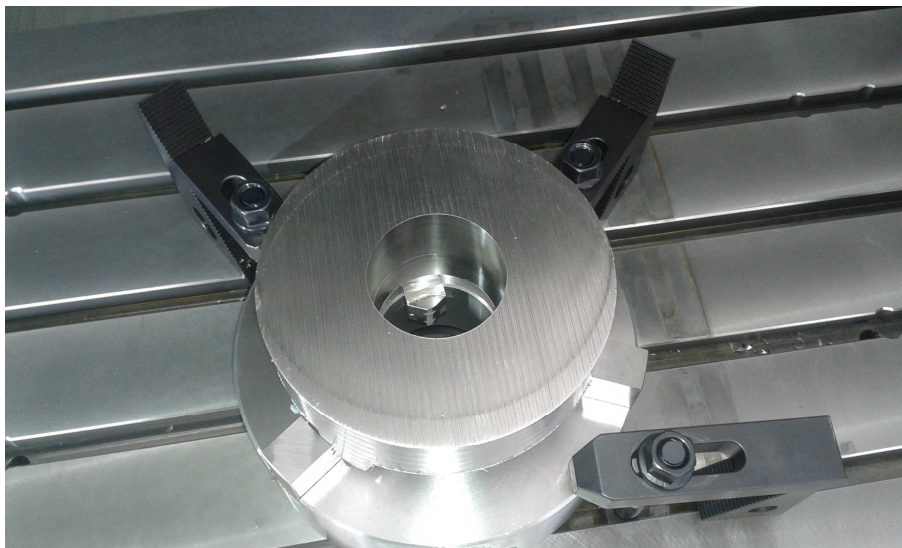
Tabulka 10. Specifikace kleštiny [28].

Průměr D	26 mm
Φ	2 – 16 mm
Délka L	34 mm

4 REALIZACE PROJEKTU

4.1 Způsob upnutí

Jelikož se jedná o přířez z kruhového polotovaru, bylo nutné využití 3-čelistového sklíčidla. Polotovar byl připevněn za vnější průměr a celá sestava byla připevněna pomocí upínek ke stolu frézky. Upnutí polotovaru je zobrazeno na obrázku 24.



Obrázek 24. Upnutí obrobku

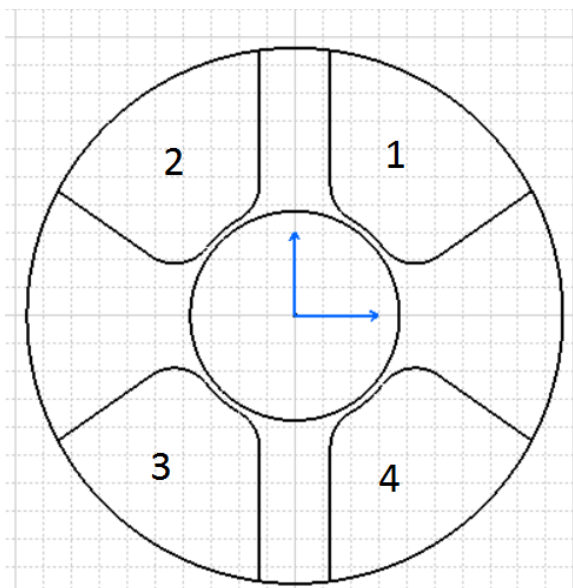
4.2 Postup frézování kapes

Po upnutí polotovaru do stroje, bylo potřeba nastavení nulového bodu obrobku. Nulový bod obrobku se nastavuje tak, že se sondou, která je upnutá místo nástroje, se najede na polotovar a sonda zaznamená souřadnice. Poté byly vloženy do stroje nástroje. Tyto nástroje se odměřují na sondě umístěné na pracovním stole frézky. Podle druhu nástroje se buď nástroj otáčí, nebo se odměřuje v klidu. Po najetí nástroje na sondu se pomocí infraportu přenesou data o nástroji do programu. Na obrázku 25 je vidět pořadí frézování kapes

Rozměry polotovaru

Základný rozměry kapsy: vnější průměr 192 mm,
Vnitřní průměr 75 mm,
Hloubka kapsy 25 mm.

Potřebné rozměry pro výrobu kapes jsou na výkrese v příloze 1



Obrázek 25. Schéma postupu frézování kapes

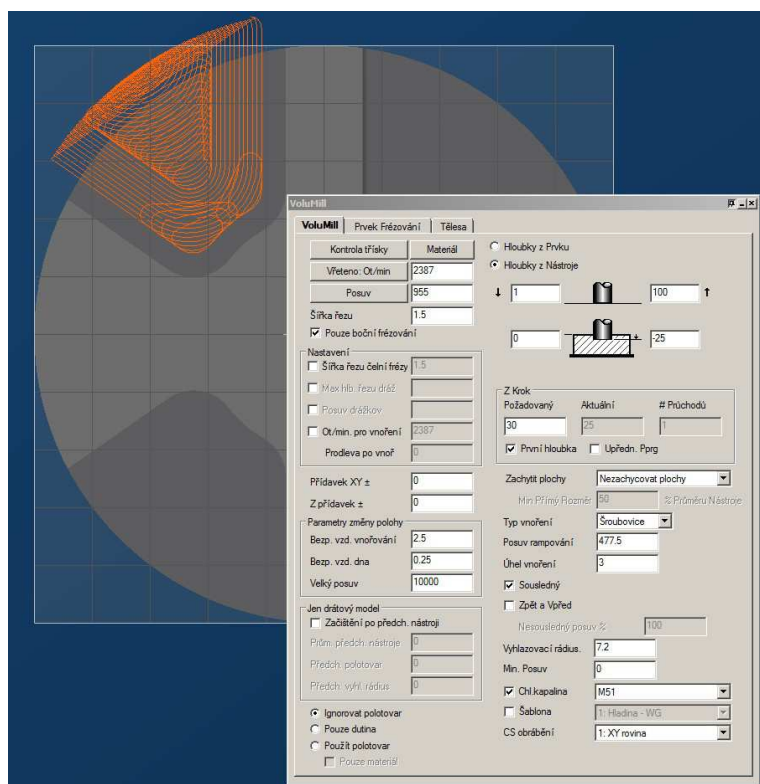
Kde: 1 - metoda vysoko posuvového frézování,
2 - metoda trochoidního frézování,
3 - frézování drážkovací metodou,
4 - metoda ponorného frézování.

4.3 Programování kapes

Programování bylo realizováno v CAM softwaru jménem GibbsCAM. GibbsCAM je jednoduchý, ale výkonný CAM software, který snadno vygeneruje NC program pro CNC obráběcí stroje. Také umožňuje plynulou integraci s kterýmkoli CAD systémem. GibbsCAM také umožňuje tvorbu modelu přímo v softwaru [30].

GibbsCAM umožňuje programování CNC frézovacích, soustružnických a nebo elektroerozivních strojů, více vřetenové stroje, od 2osého soustružení a 2,5osého frézování po 3 až 5osé souběžné obrábění [30].

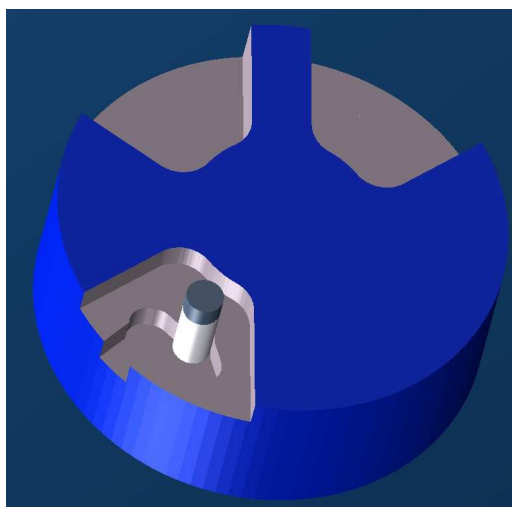
GibbsCAM disponuje různými způsoby řízení obráběcích strojů, včetně všech uvedených strategií (trochoidní frézování, ponorné frézování, vysoko posuvové frézování a drážkování) [30].



Obrázek 26. Programování kapsy trochoidní metodou

4.3.1 Ověřování dráhy nástroje a přesná simulace

Po zadání všech hodnot do programu je vygenerována dráha nástroje, která je promítnuta přímo na model obrobku. Zde je možné si zkontrolovat přejezdy nad polotovarem, nájezdy a výjezdy z polotovaru. Velká pozornost je však věnována simulaci programu. Zde je simulována dráha nástroje s detekcí kolizí. Zobrazuje se pohyb nástroje a místa kde dochází ke kolizím, nebo k podřezání anebo k nechtěným řezům, se zvýrazní. Simulace dráhy nástroje je vidět na obrázku 27



Obrázek 27. Simulace v programu GIPSSCAM

4.3.2 Ukázka programu pro vysoko posuvové frézování:

Tato ukázka programu obsahuje pouze jednu hloubku záběru, která je 0,5 mm

(OPERACE 1: HRUBOVACI, DIPLOMKA)	Poznámka pro operátora
(T 16: 16. CELNI VALCOVA FREZA HRUBOVACI)	Poznámka pro operátora
N1G0G17G40G98G90G80	Nastavení roviny pro frézování, zapnutí korekce nástrojů, Absolutní prog.
M19S0	
T16M6	Vyvolání nástroje a jeho výměna
G54	Nastavení nulového bodu
S2984M3	Nastavení otáček, zapnutí otáček
G90G0X71.875Y77.365	Absolutní programování, najetí na souřadnice
G43Z10.M51	Délková korekce nástroje
Z-0.5.	Najetí na hloubku třísky
G61.1	Aktivace tvarové kompenzace
G1Z-0.5F3000	Nastavení řezného posuvu
G05P2	Zapnutí Mazacc3D pro 3D
G1X51.728Y55.68F300.	Kontura kapsy
G3X40.7Y64.183I-51.728J-55.68	
G1Y54.475	
G2X45.008Y50.974I-40.7J-54.475	
G1X51.728Y55.68	
X58.534Y63.006	
G3X30.7Y80.334I-58.534J-63.006	
G1Y49.209	
G2X43.854Y37.958I-30.7J-49.209	
G1X66.872Y54.076	
G3X58.534Y63.006I-66.872J-54.076	
G1X65.341Y70.332	
G3X20.824Y93.714I-65.341J-70.332	
G1Y95.129	
X20.7Y95.156	
Y47.21	
G3X23.943Y41.602I6.47	
G2X38.063Y29.244I-23.943J-41.602	
G3X46.904Y27.886I5.13J3.942	
G1X80.897Y51.688	
G3X65.341Y70.332I-80.897J-51.688	
G1X66.191Y71.248	
X71.875Y77.365	
G1X51.728Y55.68F300.	
G3X40.7Y64.183I-51.728J-55.68	
G1Y54.475	

G2X45.008Y50.974I-40.7J-54.475
G1X51.728Y55.68
X58.534Y63.006
G3X30.7Y80.334I-58.534J-63.006
G1Y49.209
G2X43.854Y37.958I-30.7J-49.209
G1X66.872Y54.076
G3X58.534Y63.006I-66.872J-54.076
G1X65.341Y70.332
G3X20.824Y93.714I-65.341J-70.332
G1Y95.129
X20.7Y95.156
Y47.21
G3X23.943Y41.602I6.47
G2X38.063Y29.244I-23.943J-41.602
G3X46.904Y27.886I5.13J3.942
G1X80.897Y51.688
G3X65.341Y70.332I-80.897J-51.688
G1X66.191Y71.248
X71.875Y77.365

4.4 První kapsa

První kapsa byla frézovaná pomocí metody vysoko posuvového frézování. Pro tuto metodu byla zvolena fréza od firmy Seco Tools R17.21-0816.RE-LP06.2A. Řezné podmínky jsou uvedeny v tabulce 11.

Tabulka 11 Řezné podmínky.

Nástroj	Vc	n	Ap	Ae	f / f_z
R17.21-0806.RE-LP06.2A	150 m/min	2934 min^{-1}	0,5 mm	10 mm	0,5 mm/zub

Otáčky nástroje byla stanovena podle vztahu (1.1).

$$n = \frac{v_c \cdot 1000}{\pi \cdot D} \quad (1.1)$$

$$n = \frac{150 \cdot 1000}{\pi \cdot 16}$$

$$n = 2934 \text{ min}^{-1}$$

Kde: π – Ludolfovo číslo

D – průměr nástroje

n – otáčky vřetene



Obrázek 28. Kapsa vyfrézovaná vysoko posuvovou metodou

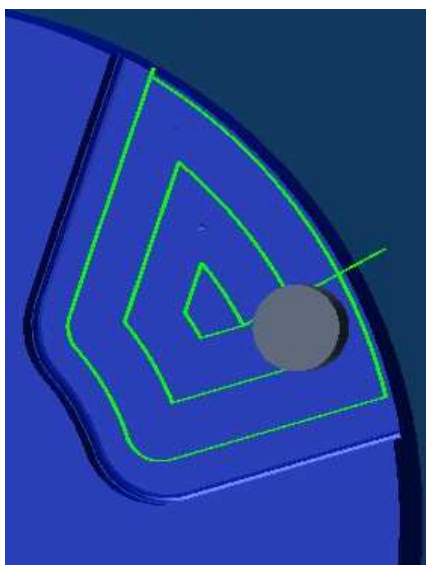
Výhody této strategie jsou:

- Malá axiální hloubka řezu,
- Velká radiální hloubka řezu,
- Vysoký posuv,
- Střední až vysoká řezná rychlost,
- Metoda je ideální pro dlouhá vyložení.

Nevýhody této strategie:

- Potřeba vyšší dynamiky posuvů,
- Nelze využít na krátkých drahách,
- Nepřesný přechodový profil dno/stěna.

Tato metoda je vhodná pro frézování kapes, které nejsou příliš hluboké. Jelikož se při frézování odebírá pouze 0,5 mm, vznikají dlouhé frézovací dráhy, s čím jsou spjaty také strojní časy. Na obrázku 29 je vidět vygenerovaná dráha nástroje. Na obrázku 28 je vidět kvalita povrchu, a to zejména stopy nástroje a velké otřepy. Je zřejmé, že po této metodě je nutné zařadit dokončovací obrábění.



Obrázek 29. Vygenerovaná dráha nástroje pro HFM

4.5 Druhá kapsa

Druhá kapsa byla frézovaná pomocí metody trochoidního frézování. Pro tuto metodu byla zvolena fréza od firmy Seco Tools JS554160D2C.3Z4C-SIRA. Řezné podmínky jsou uvedeny v tabulce 12.

Tabulka 12 Řezné podmínky.

Nástroj	Vc	n	Ap	Ae	f / f_z
JS554160D2C.3Z4C-SIRA	120 m/min	2387 min^{-1}	25 mm	1,5 mm	0,1 mm/zub

Řezná rychlost podle stahu (1.1)

$$n = 2387 \text{ min}^{-1}$$



Obrázek 30. Kapsa obrobená metodou trochoidního frézování

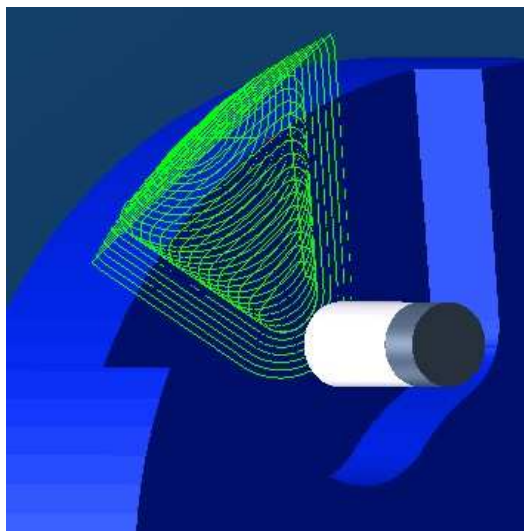
Výhody této strategie:

- pravidelné zatížení, konstantní záběrový úhel,
- nižší tepelné zatížení, delší životnost,
- vysoké hodnoty hloubky řezu, bezpečnost operace.

Nevýhody této strategie:

- nesnadné programování (podpora CAM),
- nástroj je dlouhou dobu mimo řez (dlouhá dráha).

Tato metoda je vhodná pro frézování hlubokých kapes, neboť můžeme odebírat velkou hloubku řezu. Sice má tato metoda dlouhé dráhy, za to je to vykompenzováno velkou hloubkou řezu, a kapsa může být obrobena na jednu hloubku řezu. V tabulce 12 je vidět, že hloubka řezu je v tomto případě celá hloubka kapsy, což je velmi výhodné z hlediska času obrábění.



Obrázek 31. Dráha řezného nástroje při trochoidním frézování

Na obrázku 30 je vidět kvalita obrobenej plochy po trochoidním frézování. Na to že se jedná o hrubovací metodu, je kvalita povrchu pro nějaké případy dostačující a nemusí se používat dokončovací metoda.

Tato kapsa se frézovala na jednu hloubku řezu a tím vznikají dlouhé třísky. Kvůli tomu, že fréza jezdí mimo řez, jsou třísky bezpečně odváděny pryč z řezného prostoru, nemůže dojít k poškození frézy nebo obrobku a lze použít vyšší hodnoty posuvu.



Obrázek 32. Třísky z trochoidního frézování

4.6 Třetí kapsa

Třetí kapsa byla frézovaná pomocí metody drážkování. Pro tuto metodu byla zvolena fréza od firmy Seco Tools JS554160D2C.3Z4C-SIRA. Řezné podmínky jsou uvedeny v tabulce 13.

Tabulka 13 Řezné podmínky.

Nástroj	Vc	n	Ap	Ae	f / f_z
JS554160D2C.3Z4C-SIRA	60 m/min	1194 min^{-1}	12,5 mm	15 mm	0,07 mm/zub

Řezná rychlost podle stahu (1.1)

$$n = 1194 \text{ min}^{-1}$$



Obrázek 33. Kapsa obrobená drážkovací metodou

Výhody této strategie:

- Velký úběr materiálu, nejkratší dráha nástroje,
- Definovaný tvar drážky – dna, boků i přechodu.

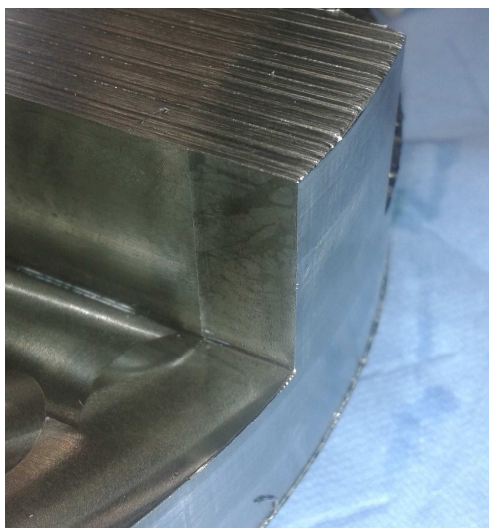
Nevýhody této strategie:

- Vysoké zatížení, radiální řezné síly, vysoký příkon,
- Nejvyšší riziko poškození nástroje a obrobku,
- Pouze pro pevné, stabilní a krátké sestavy.

V případě frézování velké otevřené kapsy, je tato metoda zcela nevhodná. Fréza vjíždí do plného materiálu a je jím opásána. Tím vznikají velké řezné síly, které vyhýbají frézu. Na obrázku 33 a na detailním obrázku 34 je vidět, jak se fréza při frézování vychýlila. Dále na obrázku 33 jsou vidět stopy nástroje, který obráběl až pod úroveň nastavené programem, opět díky velkým řezným silám.

Při této metodě frézování hrozí největší riziko poškození nástroje, neboť fréza je opásána materiálem a vzniklé třísky nemají prostor kudy odejít z řezného procesu. Třísky mohou zahltnout drážku třískami a tím může dojít k poškození řezného nástroje, nebo k poškození obrobku.

U hůře obrobitelných materiálů je tato metoda zcela nevhodná. Je to způsobeno tím, že materiál má příliš velký odpor a v místě řezu vzniká velké teplo a fréza se nelze uchladiť a dojde ke zničení frézy.

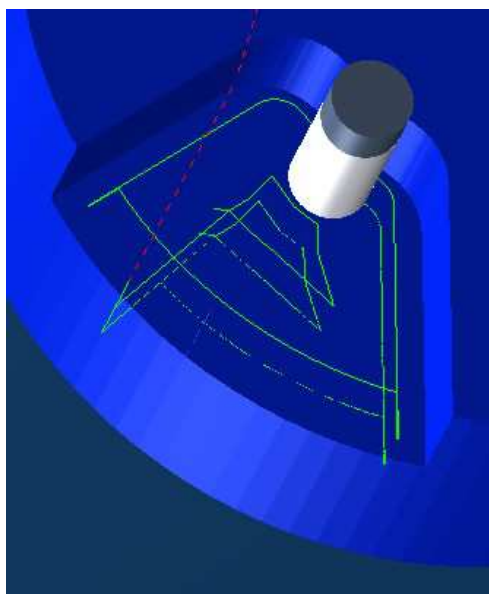


Obrázek 34. Stopy po řezném nástroji



Obrázek 35. Stopy po řezném nástroji

Tato metoda má ze všech uvedených metod nejkratší čas obrábění, neboť má nejkratší dráhu nástroje a odebírá velký množství materiálu. Kapsa byla frézována na dvě třísky a její dráha nástroje je vidět na obrázku 36.



Obrázek 36. Dráha řezného nástroje

4.7 Čtvrtá kapsa

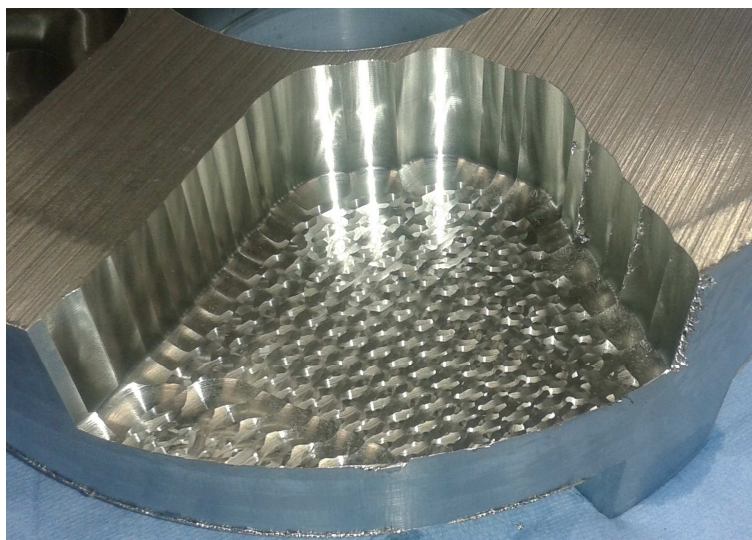
čtvrtá kapsa byla frézovaná pomocí metody ponorného frézování. Pro tuto metodu byla zvolena fréza od firmy Seco Tools R217.21-1020.RE-R100.2A 218.19-100T-M06 MS2050. Řezné podmínky jsou uvedeny v tabulce 14.

Tabulka 14 Řezné podmínky

Nástroj	Vc	n	Ap	Ae	f / f_z
R217.21-1020.RE-R100.2A 218.19-100T-M06 MS2050	120 m/min	1910 min^{-1}	25 mm	4 mm	0,1 mm/zub

Otáčky nástroje podle stahu (1.1)

$$n = 1910 \text{ min}^{-1}$$



Obrázek 37. Kapsa obrobená ponorným frézováním

Výhody této strategie:

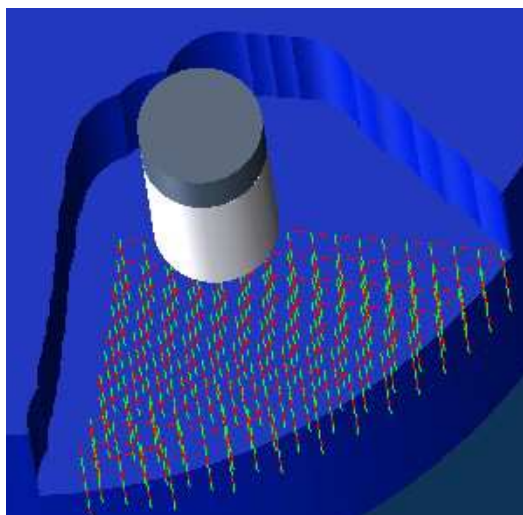
- Axiální řezné síly, využití celé délky nástroje,
- Pravidelné zatížení – konstantní průřez třísky,
- Tlačí proti stolu / upínacímu zařízení.

Nevýhody této strategie:

- Nerovný povrch na bocích profilu
- Znalost programování pro tuto metodu (jiné uvažování programování).

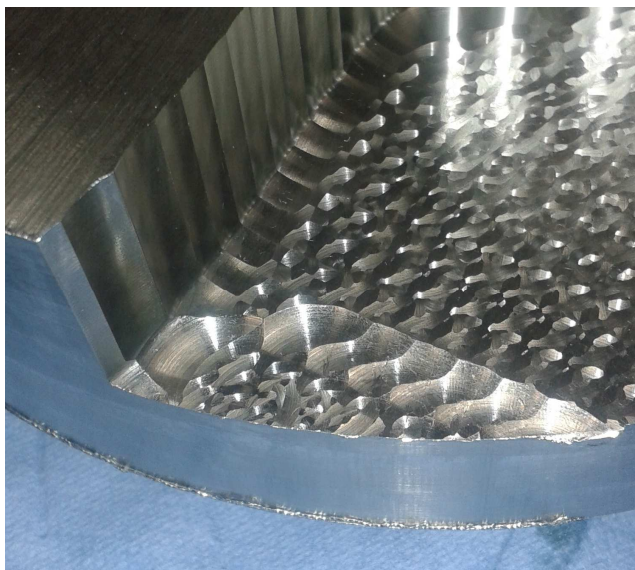
Jedná se převážně o hrubovací metodu, která se vyznačuje velkým úběrem materiálu. Na obrázku 37 je vidět struktura povrchu po obrobení, kde jsou jasně vidět stopy zavrtávacího procesu. Stěna kapsy je tvořena malými kružnicemi a taktéž otřepy. Tento jev by se dal značně eliminovat zmenšením posuvu do boku A_e .

Tato metoda je vhodná pro frézování hlubokých kapes, kde je zapotřebí velké vyložení nástroje. Při frézování středně hlubokých kapes, jako je ta v našem případě, je tato metoda neefektivní z hlediska dlouhých strojních časů.



Obrázek 38. Dráha řezného nástroje

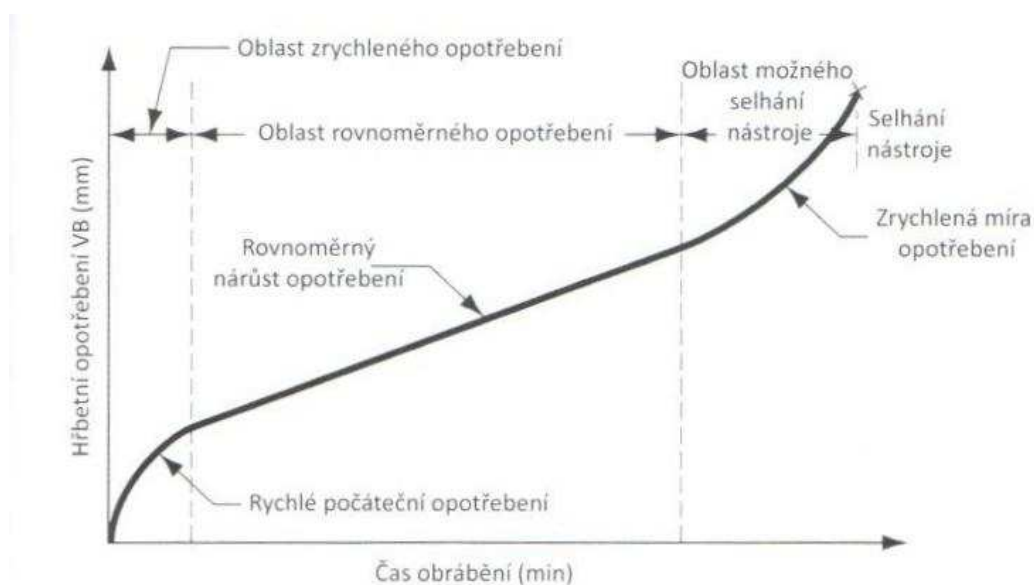
Na této kapse je vidět, jak je důležité mít správné řezné nástroje. V prvním pokusu byly otestovány břitové destičky 218.19-100T 100T MD 08 MP2500, které jsou určeny především pro obrábění železa. S těmito destičkami byl řezný proces nestabilní. Vznikali vibrace a velké zatížení stroje. Byly vyzkoušeny různé posuvy do boku A_e , aby se zlepšily řezné podmínky. V původním programu bylo nastaveno A_e na 4 mm. Hned po spuštění programu bylo jasné, že řezné podmínky nevyhovují. Proto bylo nastaveno A_e na 2 mm. Se zmenšujícím se posuvem do boku rostl také strojní čas. Při zanechání A_e na 2 mm by trvalo obrobení této kapsy 30 minut. I se sníženým posuvem do boku řezný proces byl stále nestabilní a na nástroj působily velké řezné síly. Po vložení břitové destičky od firmy Seco Tools 218.19-100T - M06 MS2050 probíhal řezný proces bez jakýchkoli nepříznivých vlivů. Na obrázku 39 je vidět část obrobené plochy pomocí špatně zvolené destičky a na obrázku 38 je znázorněna dráha nástroje.

*Obrázek 39. Detail obrobenej plochy*

4.8 Trvanlivost a opotřebení nástrojů

Určení trvanlivosti nástroje a jeho opotřebení lze provést několika způsoby. Jeden ze způsobů je, že se stanovuje čas, při kterém se dosáhlo takového opotřebení břitu, že je potřeba tuto řeznou destičku vyměnit, aby byly zajištěny bezpečné podmínky řezného procesu. Tato trvanlivost břitu můžeme vyjádřit tím, že se stanoví počet minut, po kterou odebíral břit třísku dokud nedošlo k poškození, nebo počtem vyrobených kusů, atd. [39].

Opotřebení nástroje je definováno třemi fázemi. V první fázi se opotřebení nástroje rozvíjí podstatně rychle. Ve druhé fázi dochází k rovnoměrnému nárůstu opotřebení. Ve třetí fázi se opotřebení nástroje rapidně zvyšuje a tento proces končí lomem břitu. Vývoj opotřebení je znázorněn na obrázku 340 [39].

*Obrázek 40. Opotřebení nástroje [31].*

Při frézování kapes se určovala trvanlivost nástroje podle toho, jak dlouho byla odebírána tříska, dokud nedošlo k poškození břitových destiček, nebo k poškození monolitní frézy. Trvanlivosti nástrojů jsou uvedeny v tabulce 15.

Tabulka 15 Trvanlivost nástrojů.

Název technologie	Trvanlivost [min]
Vysoko posuvové frézování	60
Trochoidní frézování	60
Drážkování	30
Ponorné frézování	60

5 VYHODNOCENÍ NÁKLADŮ

Do celé analýzy nákladů na obrobení kapsy je zapotřebí počítat všechny náklady spjaté s výrobním procesem. Do nákladů patří náklady na provoz stroje, náklady za nástroj, náklady za destičky, atd.

Náklady na hodinu provozu stroje Mazac Vertical center smart 530C [4]:

$$N_h = S_f + O_r \quad (5.1)$$

Hodinová částka odpisu stroje O_r [4]:

$$O_r = \frac{C_s + N_s + D_s - L}{T \cdot F_{ef}} \quad (5.2)$$

$$O_r = \frac{4000000 + 25000 + 25000 - 300000}{10 \cdot 3000}$$

$$O_r = 125 \text{ Kč}$$

Náklady na hodinu provozu stroje podle vzorce (5.1)

$$N_h = 875 + 125$$

$$N_h = 1000 \text{ Kč}$$

- Kde:
- C_s je cena CNC stroje [Kč]
 - N_s jsou náklady na pořízení [Kč]
 - D_s jsou náklady demontáže [Kč]
 - L je likvidační hodnota [Kč]
 - T je doba upotřebitelnosti [r]
 - F_{ef} je roční efektivní fond pracoviště [hod]
 - S_f je fixní hodinová spotřeba (plaz zaměstnance, energie, programátor, atd.) [Kč/hod]
 - O_r je hodinová částka odpisu stroje [Kč/hod]

5.1 Náklady na vysoko rychlostní frézování

Jednotkový čas stroje se vypočítá podle vztahu :

$$t_{mA} = t_{mA4} + t_{mA5} + t_{mA6} \quad (5.3)$$

$$t_{mA} = 7,05 + 0 + 0$$

$$t_{mA} = 7 \text{ min } 3 \text{ sec}$$

Kde:

t_{mA4} - je jednotkový čas chodu CNC stroje (obráběcí proces),

t_{mA5} - je jednotkový čas klidu CNC stroje (upínání a odepínání obrobku, ruční výměna nástroje, měření, atd.),

t_{mA6} - jednotkový čas interference CNC stroje (uplatnění při více strojové obsluze, kdy stroj musí čekat na příchod pracovníka.

Náklady na obrábění jednoho kusu:

$$N_{Aps} = \frac{Nh}{60} \cdot t_{mA} \quad (5.4)$$

$$N_{Aps} = \frac{1000}{60} \cdot 7,05$$

$$N_{Aps} = 117,5 \text{ Kč}$$

Náklady na pořízení břitových destiček:

$$N_{VBD} = 116 \text{ Kč}$$

Počet kusů, kterých jsme schopni vyrobít, než dojde k poškození nástroje:

$$N = \frac{T_n}{t_{mA4}} \quad (5.5)$$

$$N = \frac{60}{7,05}$$

$$N = 8,51 \text{ kusů}$$

Kde:

T_n – životnost nástroje [min].

Náklady na obrobení jedné kapsy břitovou destičkou:

$$N_{1kus} = \frac{N_{VBD} \cdot N_{des}}{N_{břit} \cdot N} \quad (5.6)$$

$$N_{1kus} = \frac{116 \cdot 2}{8,51 \cdot 2}$$

$$N_{1kus} = 13,63 \text{ Kč}$$

Kde: $N_{břit}$ – počet břitů VBD,

N_{des} počet destiček v držáku.

Celkové náklady na obrobení jednoho kusu (5.7):

$$N_{celk} = N_{Aps} + N_{1kus}$$

$$N_{celk} = 117,5 + 13,63$$

$$N_{celk} = 131,13 \text{ Kč}$$

5.2 Náklady na trochoidní frézování

Jednotkový čas stroje vypočtený podle vzorce (5.3):

$$t_{mA} = 4,483 + 0 + 0$$

$$t_{mA} = 4 \text{ min } 29 \text{ sec}$$

Jedincové náklady provozu stroje podle vzorce (5.4):

$$N_{Aps} = \frac{1000}{60} \cdot 4,483$$

$$N_{Aps} = 74,72 \text{ Kč}$$

Náklady na pořízení válcové frézy:

$$N_{frez} = 2560 \text{ Kč}$$

Počet kusů, kterých jsme schopni vyrobit, než dojde k poškození nástroje, podle vzorce (5.5):

$$N = \frac{60}{4,483}$$

$$N = 13,38 \text{ kusů}$$

Náklady na obrobení jedné kapsy válcovou frézou podle vzorce (5.6):

$$N_{1kus} = \frac{2560}{13,38}$$

$$N_{1kus} = 191,33 \text{ Kč}$$

Celkové náklady na obrobení jednoho kusu podle vzorce (5.7):

$$N_{celk} = 74,72 + 191,33$$

$$N_{celk} = 266,05 \text{ Kč}$$

5.3 Náklady na frézování drážkovací metodou

Jednotkový čas stroje vypočtený podle vzorce (5.3):

$$t_{mA} = 21166 + 0 + 0$$

$$t_{mA} = 2 \text{ min } 7 \text{ sec}$$

Jedincové náklady provozu stroje podle vzorce (5.4)!

$$N_{Aps} = \frac{1000}{60} \cdot 2,1166$$

$$N_{Aps} = 35,28 \text{ Kč}$$

Náklady na pořízení válcové frézy:

$$N_{frez} = 2560 \text{ Kč}$$

Počet kusů, kterých jsme schopni vyrobit, než dojde k poškození nástroje, podle vzorce (5.5):

$$N = \frac{30}{2,1166}$$

$$N = 14,17 \text{ kusů}$$

Náklady na obrobení jedné kapsy břitovou destičkou podle vzorce (5.6):

$$N_{1kus} = \frac{2560}{14,17}$$

$$N_{1kus} = 180,62 \text{ Kč}$$

Celkové náklady na obrobení jednoho kusu podle vzorce (5.7)

$$N_{celk} = 35,28 + 180,62$$

$$N_{celk} = 215,90 \text{ Kč}$$

5.4 Náklady na ponorné frézování

Jednotkový čas stroje vypočtený podle vzorce (5.3):

$$t_{mA} = 12,05 + 0 + 0$$

$$t_{mA} = 12 \text{ min } 3 \text{ sec}$$

Jedincové náklady provozu stroje podle vzorce (5.4):

$$N_{Aps} = \frac{1000}{60} \cdot 12,05$$

$$N_{Aps} = 200,83 \text{ Kč}$$

Náklady na pořízení břitové destičky:

$$N_{VBD} = 183 \text{ Kč}$$

Počet kusů, kterých jsme schopni vyrobit, než dojde k poškození nástroje, podle vzorce (5.5)

$$N = \frac{60}{12,05}$$

$$N = 4,98 \text{ kusů}$$

Náklady na obrobení jedné kapsy břitovou destičkou podle vzorce (5.6):

$$N_{1kus} = \frac{183 \cdot 2}{4,98 \cdot 3}$$

$$N_{1kus} = 24,50 \text{ Kč}$$

Celkové náklady na obrobení jednoho kusu podle vzorce (5.7):

$$N_{celk} = 200,83 + 24,50$$

$$N_{celk} = 225,34 \text{ Kč}$$

6 DISKUZE

Tabulka 16 Výsledné hodnoty

Strategie	Délka obrábění	Životnost nástroje	Počet kusů	Náklady na obrábění [Kč]	Náklady na řezný nástroj (1 kapsa) [Kč]	Náklady na řezný nástroj [Kč]	Celková cena [Kč]
Vysoko rychlostní frézování	7min 3s	60 min	8,51	117,50	13,63	116	131,13
Trochoidní frézování	4m 29s	60 min	13,38	74,72	191,29	2560	266,01
Drážkování	2m 7s	30 min	14,17	35,28	180,62	2560	215,90
Ponorné frézování	12m 3s	60 min	4,98	200,83	24,50	183	225,34

V tabulce 16 jsou uvedené výsledky experimentu. Cílem bylo navrhnout nejvýhodnější technologii pro frézování kapes s celkovou hloubkou 25 mm. Byly vybrány čtyři technologie frézování (vysoko posuvové, trochoidní, drážkování a ponorné frézování).

Z tabulky 16 vyplívá, že nejkratší čas na výrobu kapsy má drážkovací metoda, poté následuje trochoidní frézování, pak vysoko posuvové frézování a nakonec ponorné frézování. Abychom mohli vyhodnotit nejlepší metodu pro frézování kapes, je potřeba se zaměřit na několik aspektů. Každá metoda má své výhody i nevýhody a nelze využívat tyto metody při stejných podmínkách.

Jako nejdůležitější aspekt pro volbu metody frézování je hloubka kapsy, protože každá s uvedených metod má různě dlouhé strojní dráhy. Tyto dráhy následně odpovídají i strojním časům na výrobu kapsy a to se dále promítá do nákladů za obrábění. V tabulce 17 jsou zobrazeny tloušťky třísky jednotlivých metod a v souvislosti s tím jak velké množství materiálu určitá metoda odebírá, bychom se také měli rozhodnout k volbě správné metodě. Jednalo-li by se o mělkou kapsu, určitě bychom se rozhodovali pro metodu vysokorychlostního frézování. Tato metoda sice odebírá pouze tloušťku třísky 0.5 mm, ale řezné dráhy jsou o dost kratší než u trochoidního frézování.

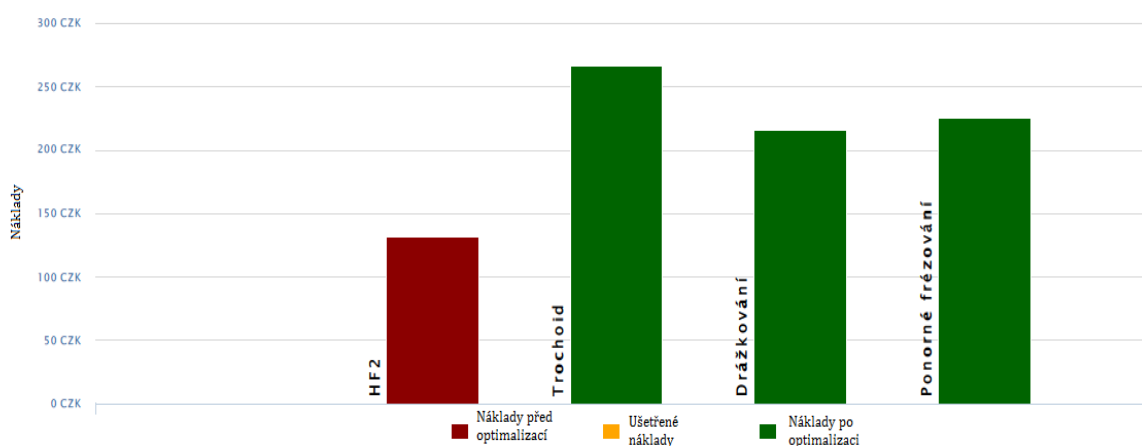
Jednalo-li by se o hlubší kapsy, pak přichází na řadu trochoidní frézování. V případech kdy je hloubka kapsy rovna hloubce třísky a_p frézy, je tato metoda schopna vyfrézovat celou hloubku kapsy na jednu hloubku třísky. To znamená, že tato metoda bude rychlejší než metoda HFM a tudíž i výhodnější.

Ponorné frézování se vyplatí u frézování velkých a hlubokých kapes, nebo tam, kde je potřeba dlouhé vyložení nástroje. Z hlediska strojních časů tato metoda trvala 23 minut a 3 sekundy

Dalším aspektem pro volbu metody je sériovost výroby. V tabulce 16 je uvedeno, kolik kusů jsme schopni vyrobit po dobu životnosti nástroje. Na první pohled by přišla v úvahu technologie drážkování kapsy. Ovšem u této metody hrozí velké nebezpečí poškození frézy, nebo obrobku že se v takových případech frézování již nevyužívá.

Jestliže budeme navrhovat technologii pro větší série frézování kapes, je optimální variantou vybrat trochoidní frézování. Tato metoda disponuje strojním časem 4 minuty a 29 sekund a po dobu životnosti frézy vyrobí 13,38 kusů. Náklady na obrábění jsou po drážkování druhé nejmenší, ale protože se obrábí monolitní válcovou frézou, jejíž cena dosti zvyšuje výslednou cenu, je tato metoda nejdražší. Z hlediska sériovosti jsme ale schopni ušetřit náklady za provoz stroje, plat dělníka, atd., neboť trochoidním frézováním splníme dřív zakázku než metodou HFM a stroj může být využit k jiné práci.

Jako nejlevnější metoda frézování kapes vychází vysoko posuvové frézování. Sice tato metoda má delší strojní čas, ale pokud se jedná o výrobu pár kapes, tak je tato metoda nejvýhodnější. Celkové ceny na zhotovení jedné kapsy vybranými metodami jsou zobrazena v grafu 1



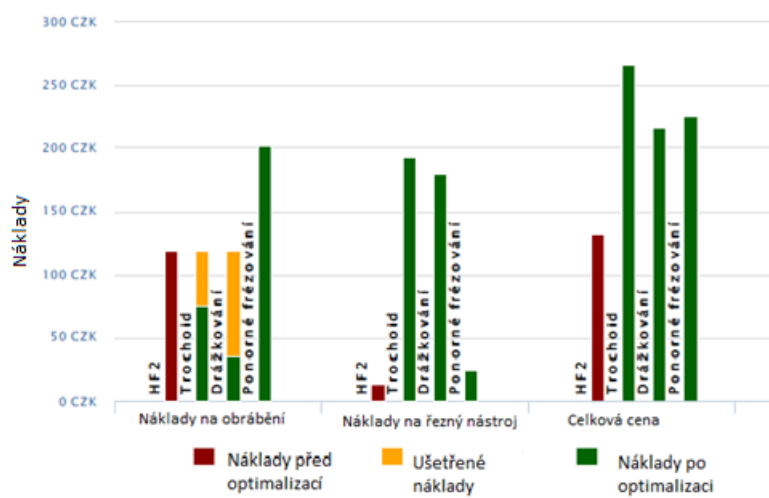
Graf 1. Celkové náklady

Porovnávání všech metod z hlediska nákladů je zobrazeno v grafu 2. Jsou zde náklady před optimalizací, kde jako metoda před optimalizací byla zvolena metoda HFM. K této metodě se porovnávají ostatní. V Prvním sloupci jsou zaneseny náklady na obrábění, kde je vidět že drážkovací a trochoidní metoda vychází nejlevněji (oranžová barva ušetřené náklady). V další kolonce jsou zobrazeny náklady na řezný nástroj. V případě HFM a ponorného nástroje jsou zde náklady jenom za břitové destičky, kdežto u trochoidní a drážkovací metody je to celá monolitní fréza. Když se tyto dvě kolonky sečtou (náklady za obrábění plus náklady za řezný nástroj) vzniká třetí kolonka s celkovými náklady.

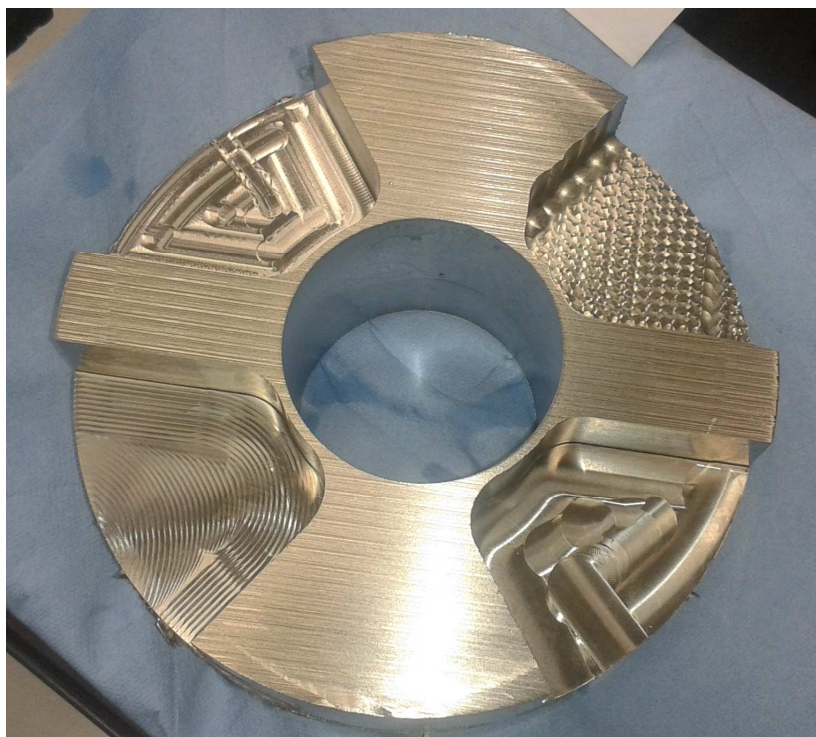
Jelikož na začátku bylo vysoko rychlostní frézování zvoleno jako porovnávací metoda k ostatním, tak výsledky po optimalizaci (zelená barva v grafech) jsou horší než před optimalizací. To znamená, že metoda vysoko posuvového frézování z hlediska nákladů, je nejlevnější.

Tabulka 18 Tloušťka třísky a_p a posuv do boku a_e

Strategie	Tloušťka třísky a_p	Posuv do boku a_e
Vysoko rychlostní frézování	0,5 mm	10 mm
Trochoidní frézování	25 mm	1,5 mm
Drážkování	12,5 mm	15 mm
Ponorné frézování	25 mm	4 mm



Graf 2. Náklady před a po optimalizaci



Obrázek 41. Ukázka obroběných kapes

ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo navrhnout vhodné řešení pro frézování středně hlubokých kapes. V teoretické části byly popsány základní informace týkající se CNC obráběcích strojů, jejich výhody a nevýhody, základní souřadnicový systém, a popis CAD/CAM technologií, bez kterých by se jen stěží programovaly uvedené technologie frézování.

V praktické části byly popsány čtyři technologie pro frézování kapes (vysoko posuvové frézování, trochoidní frézování, ponorné frézování a drážkování). K naprogramování kapes byl využit program GibbsCAM. V tomto programu byly dále jednotlivé technologie odsimulovány, abychom zabránili kolizím.

Výsledkem experimentu je tabulka 17, kde jsou uvedeny výsledné hodnoty. Na první pohled z hlediska ekonomiky se může zdát, že vysoko posuvové frézování je nejvýhodnější. Je ale potřeba se zamyslet nad otázkou kolik kapes se bude frézovat, neboť je u této metody vyšší strojní čas. Celkové náklady na zhotovení této drážky byly 131 Kč.

Nejhůře v tomto případě vyšla technologie ponorného frézování. Na obrázku 37 je vidět velký zbytkový materiál, který je potřeba ještě odebrat. Tento zbytkový materiál by se dal značně eliminovat snížením posuvu do boku místo $a_e = 4$ mm zvolit $a_e = 2$ mm. To by ovšem zvýšilo strojní čas o dvojnásobek.

Závěrem bych chtěl říct, že v tomhle tom případě frézování kapes bych se rozhodoval mezi vysoko posuvovým frézováním a trochoidním frézováním. Zaleží na tom, kolik kusů kapes se bude frézovat. Vysoko posuvové frézování vychází finančně lépe, neboť jsou zde menší náklady na řezný nástroj („pouze břitové destičky“), kdežto u trochoidní metody je nutné pořídit novou monolitní frézu, ale na druhou stranu je tato metoda rychlejší.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. *Učebnice CNC* [online]. Ver. 2.0. c2006-2015 [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: <http://sstzr.cz/download/cat1/ucebnicecnc.pdf>
2. IVÁNEK, Zdeněk. *Úvod do NC techniky* [online]. 2011 [cit. 2016-05-225]. Dostupné z: coptel.coptkm.cz/reposit.php?action=0&id=24287&instance=24.
3. *Historie datových úložišť: od děrných štítků po SSD* [online]. 2010 [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: <http://www.cnews.cz/clanky/historie-datovych-ulozist-od-dernych-stitku-po-ssd>
4. ŠTULPA, Miloslav. *CNC: programování obráběcích strojů*. Praha: Grada, 2015, 239 s. ISBN 9788024752693.
5. *Obecný úvod do problematiky CNC programování* [online]. [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: http://www.sosbites.cz/images/stories/Pro-studenty/studijni-materialy/VUKOV_TEXT_-_1.ST.pdf
6. VITRALAB: *Příručka CNC programování* [online]. [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: http://www.sjf.tuke.sk/vitralab/upload/CNC%20prirucka_CZ.pdf
7. *Systémy CAD* [online]. [cit. 2016-05-26]. Dostupné z: http://esf.fme.vutbr.cz/modul/3/systemy_cad.pdf
8. DOBŘICKÝ, Josef a Branislav LACKO. *Systémy CAD/CAM*. VUT Brno, 2001 ISBN 80-214-0430-2
9. SADÍLEK, Marek a František KOSAŘ. *Řešené praktické příklady v CSD systému MasterCAM: učební text předmětu "CAD/CAM systémy v obrábění" a "CAD/CAM systémy v obrábění II"* [CD-ROM]. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2012. ISBN 978-80-248-2706-3.
10. HUMÁR, Antonín. *TECHNOLOGIE 1: TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ - 1. část*. [online]. 2003 [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-1cast.pdf
11. ŠVRČINA, Josef. *Podstata frézování*. [online]. 2012 [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: http://www.strojka.opava.cz/UserFiles/File/sablony/Praxe_II_a_III/VY_52_INOVACE_H-02-20.pdf
12. Seco Tools CZ s.r.o., *CZ_ECO_Corporate_Presentations_External*, interní dokumenty
13. Seco Tools CZ s.r.o., *Seco_Tools_CZ_prezentace_zaklad*, interní dokumenty
14. *Technické informace: korozivzdorné oceli* [online]. [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: https://www.heyman.cz/media/useruploads/files/cz/technische_angaben/korozivzdorne_oceli.pdf?f=1
15. *NEREZOVÁ OCEL 1.4404* [online]. [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: <http://www.inoxspol.cz/nerezova-ocel-14404.html>
16. STRNAD, Tomáš. *OBROBITELNOST AUSTENITICKÉ OCELE: podklady k předmětu KTO/EMO*. [online]. 2011. [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: [file:///C:/Users/uzivatel/Downloads/obr%C3%A1b%C3%AD%20austenitick%C3%A9%20oceli_podklad%20pro%20cviceni%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/uzivatel/Downloads/obr%C3%A1b%C3%AD%20austenitick%C3%A9%20oceli_podklad%20pro%20cviceni%20(1).pdf)

FSI VUT	DIPLOMOVÁ PRÁCE	List	59
---------	-----------------	------	----

17. *OBROBITELNOST MATERIÁLŮ* [online]. [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: http://homel.vsb.cz/~cep77/PDF/EMO_kapitola_06.pdf
18. *MAZAC* [online]. [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: <https://www.mazakusa.com/machines/vertical-center-smart-530c/>
19. *MAZAC, VERTICAL CENTER SMART*, interní dokumenty
20. DE VOS, Patrick. *Příručka pro technology*. 2013. [online]. [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: https://www.secotools.com/CorpWeb/Czech%20Republic/Aktuality/Patrick%20-%20s%C3%A9rie%20Milling%202013/5-7,8_2013_Dynamick%C3%A9%20fr%C3%A9zov%C3%A1n%C3%AD-vyu%C5%BEit%C3%AD%20kompenza%C4%8Dn%C3%ADho%20p%C5%99%C3%ADstupu.pdf
21. *Trochoidal Milling* [online]. [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: <http://www.widia.com/en/featured/trochoidal-milling.html>
22. *GibbsCAM* [online]. [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: <https://www.gibbscam.com/cs/solutions/gibbscam-modules/volumill-gibbscam#.V0QTFfmLRD>
23. *Ultra High-Performance Toolpath Engine* [online]. [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: <https://www.gibbscam.com/data/File/pdf/gibbs-cam-mlr118-web.pdf>
24. *Frézování drážek, zářezů a vybrání* [online]. [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1234>
25. ŠVRČINA, Josef. *Frézování pravoúhlých drážek*. 2012. [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: http://www.strojka.opava.cz/UserFiles/File/_sablony/Praxe_II_a_III/VY_52_INOVACE_H-02-28.pdf
26. *Ponorné frézy* [online]. [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: <https://www.secotools.com/cs/Global/Products/Milling/Copy-milling/Plunge-milling-cutters/>
27. *Ponorné frézování* [online]. [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/milling/application_overview/holes_and_cavities/plunge_milling/pages/default.aspx
28. *Produkty Seco Tools* [online]. [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: <https://www.secotools.com/cs/Global/Products/>
29. *Combimaster: modulární frézovací systémy* [online]. [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: https://www.secotools.com/cs/Global/Products/PCD/Tooling_Combimaster/
30. *GibbsCAM* [online]. [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: https://www.gibbscam.com/cs/solutions/pro-si-vybrat-gibbscam#.V0X8l_mLRD

31. DE VOS, Patrick, Kateřina DUFKOVÁ a Miroslav PIŠKA. *OPOTŘEBENÍ ŘEZNÝCH NÁSTROJŮ: praktické zkušenosti*. 2014.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka	Jednotka	Popis
ATP	[-]	formát dat
NC	[-]	Numerical control
CA	[-]	Computer Aided
CAA	[-]	Computer Aided Assembly
CAD	[-]	Computer Aided Design
CAM	[-]	Computer Aided Manufacturing
CAO	[-]	Computer Aided Organisation
CAP	[-]	Computer Aided Processing
CAS	[-]	Computer Aided Seling
CL	[-]	formát dat
CNC	[-]	Computer numerical control
HFM	[-]	High feed milling

Symbol	Jednotka	Popis
Cs	[Kč]	je cena CNC stroje
D	[-]	Průměr nástroje
D_s	[Kč]	Náklady na demontáž
F_{cNi}	[N]	Kolmá řezná síla
F_{ef}	[hod]	je roční efektivní fond pracoviště
F_{fci}	[N]	řezná síla
F_{fNi}	[N]	kolmá posuvová síla
F_{fi}	[N]	posuvová síla,
F_i	[N]	výsledná řezná síla

L	[Kč]	likvidační hodnota
N	[-]	Počet vyrobených kusů
N_{Aps}	[Kč]	Náklady na obrábění jednoho kusu
N_{břit}	[Kč]	počet břitů VBD
N_{celk}	[Kč]	celkové náklady
N_{des}	[-]	počet destiček v držák
N_h	[Kč]	Náklady na hodinu provozu stroje
N_s	[Kč]	náklady na pořízení stroje
N_{VBD}	[Kč]	Náklady na pořízení břitových destiček
N_{1kus}	[Kč]	Náklady na obrobení jedné kapsy břitovou destičkou
Or	[Kč/hod]	hodinová částka odpisu stroje
R	[mm]	poloměr břitové destičky
R_m	[MPa]	Fixní hodinová spotřeba
R_{p0,2}	[MPa]	Smluvní mez kluzu
S_f	[Kč/hod]	Fixní hodinová spotřeba
T	[r]	doba upotřebitelnosti
T_n	[min]	Životnost nástroje
a_e	[mm]	Šířka pracovního záběru
a_p	[mm]	Hloubka třísky
d	[mm]	Průměr
f	[mm]	Posuv na zub
l₁	[mm]	Délka hlavičky combimaster

l_2	[mm]	Délka frézy
n	$[min^{-1}]$	Otáčky vřetene
r_p	[mm]	Poloměr zaoblení
r_ϵ	[mm]	Poloměr špičky
s	[mm]	Tloušťka břitové destičky
t_{mA4}	[min]	jednotkový čas chodu CNC stroje (obráběcí proces)
t_{mA5}	[min]	jednotkový čas klidu CNC stroje
t_{mA6}	[min]	jednotkový čas interference CNC stroje
v_c	[m/min]	Řezná rychlost
w	[mm]	Šířka břitové destičky
π	[mm]	Ludolfovo číslo
\varnothing	[mm]	průměr

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 Výkresová dokumentace

Příloha 2 Elektronický program

